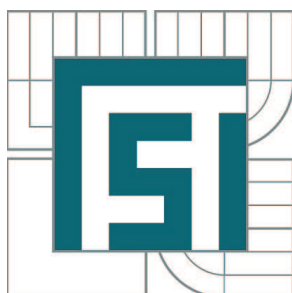


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

POLOHOVACÍ ZAŘÍZENÍ RADARU

TRACK POINT OF RADAR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JOSEF ČERNOHOUS

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK PROKEŠ

BRNO 2010

ABSTRAKT

Diplomová práce se v první části zabývá současným poznáním v oblasti elektromagnetických vln, historií, vývojem a rozdělením radiolokátorů, druhy radarových antén a rozdělením nosných konstrukcí radiolokátorů. V druhé části se zabývá formulací problému a její analýzou. Třetí část vymezuje konkrétní cíle diplomové práce a čtvrtá část navrhuje metodu přístupu k řešení. V páté části je obsažen návrh a výběr variant konstrukce. Šestá část rozebírá vybranou variantu konstrukce a popisuje její jednotlivé části. Poslední sedmá část práce obsahuje zhodnocení konstrukce po stránce konstrukční, technologické a ekonomické.

Klíčová slova

Radar, radiolokátor, elektromagnetické vlnění, servomotor, kroužkový sběrač, koncový spínač, kuželíkové ložisko

ABSTRACT

Diploma thesis concerns in the first part about current knowledge in the field of electromagnetic waves, the history, development and distribution of radar, radar antenna types and distribution of structure radars. The second part deals with the problem formulation and analysis. The third part defines the specific goals of diplomas thesis and the fourth part proposes a solution methode. Design and design selection is included in fifth part. The sixth section analyze selected variant and describes its components. Final seventh part contains design assessment of structural, technological and economic aspect.

Key words

Radar, electromagnetic wave, servodrive, slip ring, limit switch, tapered roller bearing

Bibliografická citace

ČERNOHOUS, J. Polohovací zařízení radaru. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 73 s. Vedoucí diplomové práce Ing. František Prokeš.

PROHLÁŠENÍ

Čestně prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Polohovací zařízení radaru vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 27.5.2010

.....
Josef Černohous

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Františku Prokešovi za cenné připomínky při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt	3
Prohlášení	5
Poděkování	7
OBSAH	9
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	11
1.1 Historie	11
1.2 Princip radaru	12
1.3 Rozdělení radarů	14
1.3.1 Dle časové délky vysílaného signálu	14
1.3.2 Dle způsobu snímání prostoru	14
1.3.3 Dle typu a způsobu vysílání	15
1.4 Druhy radarových antén	17
1.5 Rozdělení nosných konstrukcí	17
1.6 Vývoj radarů v ČR	19
2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA	20
2.1 Formulace řešeného problému	20
2.2 Technická analýza	20
3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE	21
4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ	22
4.1 Rešerše	22
4.2 Návrh variant a rozmístění jednotlivých prvků	22
4.3 Posouzení variant a výběr finální podoby	22
4.4 Návrh konstrukce	22
4.5 Posouzení konstrukce	22
4.6 Výběr software	22
5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	23
5.1 Návrh variant řešení	23
5.1.1 Varianta 1	23
5.1.2 Varianta 2	24
5.2 Zhodnocení variant a výběr optimální varianty	25
5.2.1 Zhodnocení variant	25
5.2.3 Výběr optimální varianty	25
6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VYBRANÉ VARIANTY	26
6.1 Výpočetní část konstrukčního řešení	26
6.1.1 Výpočet zatěžující síly od působení vanoucího větru	27
6.1.2 Výpočet a výběr servomotorů	30
6.1.3 Kontrolní výpočet spodního hřídele	34
6.1.4 Kontrolní výpočet horního hřídele	37
6.1.5 Výpočet velikosti ložisek	38
6.1.6 Kontrolní výpočet nosné trubky	41
6.1.7 Kontrolní výpočet namáhání obdélníkového profilu	45
6.1.8 Výpočet velikosti kroužkového sběrače	47
6.2 Výsledná sestava nosné konstrukce radiolokátoru	48
6.3 Otočná plošina	49

6.4 Nosná konzola.....	50
6.5 Konzola pro upevnění paraboly	51
6.6 Uložení horního hřídele	52
6.7 Hřídelové uložení otočné plošiny	53
6.8 Kotvení konstrukce k zemi	54
6.9 Pohony	54
6.10 Kroužkový sběrač	56
6.11 Ovládací a rozváděcí skříň.....	56
6.12 Bezpečnostní prvky konstrukce	57
6.12.1 Koncové spínače	57
6.12.2 Centrální vypínač	58
6.12.3 Ostatní doporučené bezpečnostní prvky	58
7 ZÁVĚR (KONSTRUKČNÍ, TECHNOLOGICKÝ A EKONOMICKÝ ROZBOR ŘEŠENÍ).....	59
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN.....	67
SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	69
SEZNAM TABULEKSeznam příloh	70
Seznam příloh.....	71
Příloha 1	71

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1

1.1 Historie

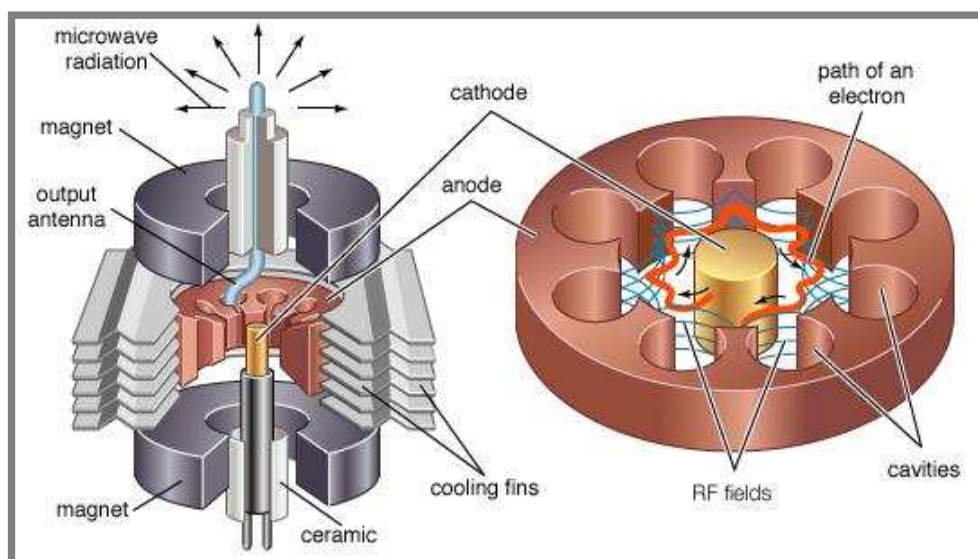
Radar, přesněji radiolokátor, je zařízení, které vysílá elektromagnetické vlnění a přijímá jeho odražené signály. Od matematického objevení (James Clerk Maxwell, 1886) a demonstrace existence (Heinrich Hertz, 1888, sestrojil vlastní zařízení pracující ve spektru velmi krátkých vln) se již v roce 1904 povedlo Kristianu Huelsmeyerovi sestrojit první zařízení, které detekovalo objekt. Jeho telemobiloskop se skládal ze společné antény pro vysílání i příjem a pro vytvoření elektromagnetických vln sestrojil tzv. jiskřiště, které generovalo vlny převážně ve směru maxima anténního diagramu. Po dopadu odražených vln na anténu došlo v jiskřišti k směšování s vysílanými vlnami. Nízkofrekvenční zázněj se realizoval pomocí zvonku a žárovky. Tímto zařízením dokázal v husté mlze detekovat loď, ačkoliv nebyl schopný stanovit její vzdálenost. [12]



Obr.1-1 Telemobiloskop [36]

Další významný posun v radarové technologii přinesl Nikola Tesla roku 1917, kdy stanovil vztah mezi frekvencí a výkonem. Také si uvědomil potenciál elektromagnetického vlnění a prohlásil, že můžeme z vysílací stanice produkovat elektrický efekt v patřičné části oblohy a můžeme určit relativní pozici nebo pohyb objektu, jako je loď na moři. [14]

Před příchodem druhé světové války se velké mocnosti, jako Britové, Francouzi, Němci, Sověti a Američané, snažili postavit výkonnější, přesnější radary s delším dosahem. V roce 1934 Francouz Emile Girardeau postavil na základě principů a zásad Nikoly Tesly moderní radarový systém. V roce 1935 Američan Robert Page testoval pulsní radar a ve stejném roce Sovět Oschepkov vyvinul radar RAPID schopný detekovat letadlo do vzdálenosti 3km. V Britském království před druhou světovou válkou vybudovali celou síť radarů podél jihovýchodního pobřeží, která vysílala na frekvencích 30 a 200 MHz s dosahem do 200 km. Během druhé světové války vědci z MIT v Birminghamu vyvinuli a zdokonalili Magnetron. [12]



Obr.1-2 Magnetron [37]

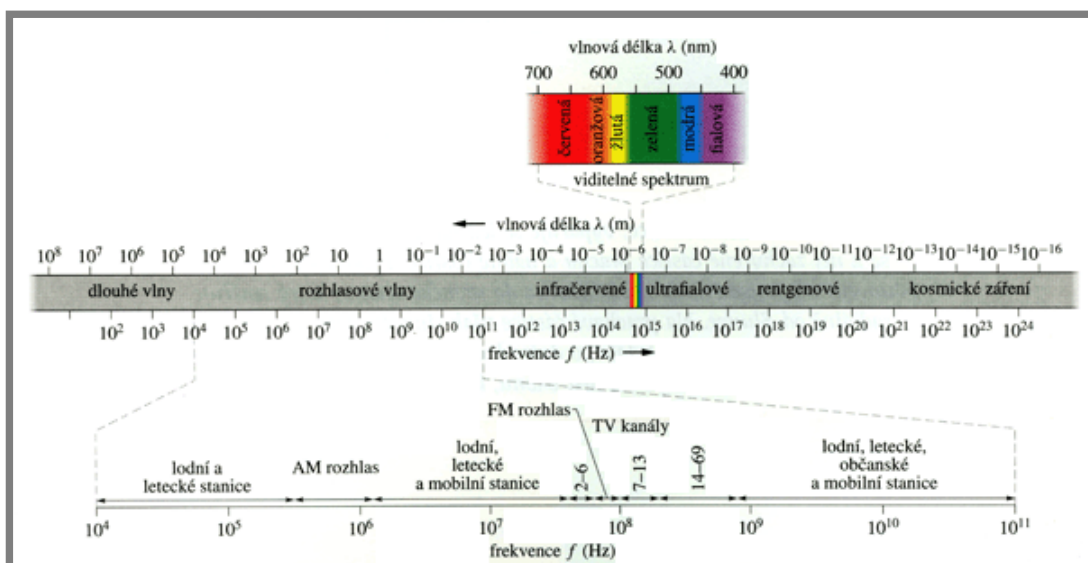
Magnetron je vysoce účinná elektronka, která vytváří elmag. vlny. Přinesla pokrok v rozlišení a možnosti vyrábět palubní radary pro letadla, lodě apod.

Poslední velký technologický skok se uskutečnil s příchodem polovodičů - mikroprocesorů. Digitálním signálem se začalo řídit ovládání, diagnostika, zpracování signálu. Polovodiče se rozšířily i do vysokofrekvenčních částí vysílačů, sestrojily se tranzistorové výkonové zesilovače a objevily se první radary velkého dosahu.

V osmdesátých letech se rozvinuly radary se syntetickou aperturou. Princip, který byl objeven již v roce 1951, využívá vzájemného pohybu pozorovacího a pozorovaného objektu s výrazně lepší rozlišovací schopností. Touto technologií byl podrobně zmapován povrch Země i s podmořskými reliéfy.

1.2 Princip radaru

Elektromagnetické vlnění se vyskytuje v širokém spektru vlnových délek, viz obr3.



Obr.1-3 Spektrum elektromagnetického záření [38]

K provozu radiolokátorů se využívá jen části tohoto spektra, a to v oblasti mikrovln. Vlnová délka mikrovlnného záření se pohybuje přibližně od 1mm po 20m.

Rozsah frekvence je rozdělen do několika pásem.

ELF	VLF	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF
Extremely Low Frequency	Very Low Frequency	Low Frequency	Medium Frequency	High Frequency	Very High Frequency	Ultra High Frequency	Super High Frequency
Extrémně dlouhé vlny	Velmi dlouhé vlny	Dlouhé vlny (DV)	Střední vlny (SV)	Krátké vlny (KV)	Velmi krátké vlny (VKV)	Ultra krátké vlny (UKV)	Mikrovlny
3 mHz - 3kHz	3 kHz - 30 kHz	30 kHz - 300 kHz	300 kHz - 3 MHz	3 MHz - 30 MHz	30 MHz - 300 MHz	300 MHz - 3 GHz	3 GHz - 30 GHz
1000 km - 100 km	100 km - 10 km	10 km - 1 km	1 km - 100 m	100 m - 10 m	10 m - 1 m	1 m - 10 cm	10 cm - 1 cm

Obr.1-4 Tabulka rozdělení elektromagnetického vlnění podle frekvence [39]

Základem radaru je elektromagnetické vlnění o frekvenci 30MHz až cca 300GHz, které je vysíláno do prostoru. Emitorem elektromagnetických vln může být elektronka (magnetron, klystron) nebo polovodičový prvek. Vyslané vlny, které dopadnou na cizí objekt (dobře odrážejí vlny elektricky vodivé materiály, jako kovy, uhlíkaté mater. apod.) se odrazí a putují zpět k radaru. Odražené vlny vyhodnocuje výpočetní technika. Pro výpočet vzdálenosti se měří čas dopadu vlny na přijímač od jejího vyzáření vysílačem. Pokud vyslaný impuls dopadne na přijímač později, než je další vyslaný impuls, nelze jednoznačně určit vzdálenost cíle od radaru. Pro stanovení rychlosti objektu je zapotřebí minimálně 2 vyslaných impulsů vlnění v přesně naměřeném intervalu, každým impulsem se spočítá vzdálenost a rozdíl těchto vzdáleností podělený časem mezi impulsy tvoří rychlost objektu. Lze také

použít Dopplerovského efektu – při pohybu objektu vzhledem k radaru dochází přímo úměrně k posuvu frekvence.

1.3 Rozdělení radarů

1.3.1 Dle časové délky vysílaného signálu

Radary s kontinuálním vysíláním

Vzhledem k poměrně vysokému zeslabení vln procházejících prostředím se radary se souvislým provozem používají pouze do vzdálenosti několika kilometrů. používají se především pro měření výšky vrtulníků, letadel, pro měření rychlosti vozidel, jako senzory, a do budoucna jako antikolizní čidla automobilů. [11]

Radary s impulsním provozem

Pro větší dosah radarů bez velkého navýšení výkonu se používá impulsního provozu. Takovýto radar je schopen vyslat větší výkonový impuls a tím, že určitý čas pouze přijímá, celkový výkon v poměru spotřebované energie a času není vysoký. nevýhodou je tzv. slepá zóna, která vzniká chráněním přijímače vstupní ochranou, která uzavře vstup v době vysílání impulsu a krátce po skončení vysílání, kdy impuls ještě doznívá. Vlny, které se v blízkosti radaru odrazí a dopadnou na přijímač ještě v době jeho uzavření, nebudou zpracovány. Slepé zóny se liší použitím radaru. [11]

1.3.2 Dle způsobu snímání prostoru

2D

Využívá se vyzáření svazku vlnění, který je v jedné rovině úzký ($1-2^\circ$) a ve druhé rovině široký ($15-45^\circ$). Obecně platí, že čím je vlnová délka menší vůči velikosti antény, tím dokáže radar vyslat užší paprsek a výsledný obraz je přesnější, a čím je časově delší vysílaný impuls, tím je měřená vzdálenost od radaru přesnější. Tohoto druhu vyhledávání se využívá např. v civilní dopravě pro pozemní přehledový radar. Takovýto radar dokáže přesně určit vzdálenost letounu a jeho elevaci nebo azimut. Záleží, v které rovině radar vyzařuje úzký svazek. [11]

2x2D

Kombinace snímání radiolokátorem s úzkým svazkem v elevaci a v azimutu nahrazuje snímání ve 3D. Pro pozemní přehledový radar lze použít pozemní výškoměr. Každá anténa pracuje nezávisle. Data se při zpracování přiřadí jednotlivým objektům a dostane se informace o vzdálenosti, elevaci i azimutu. Tento systém dobře pracuje, není-li mnoho pozorovaných objektů. [11]

3D

Systém s kónickým snímáním pracuje na principu ozařování kuželovitého prostoru svazkem vln, které v obou rovinách mají přibližně stejný rozptyl, nejčastěji kolem 1° . Anténa se pohybuje spirálovitě od okraje po osu kuželovitého prostoru. Tento princip je výhodný hlavně z hlediska pomalé změny směru a rychlosti snímání. Může

být proto lehce realizován mechanicky. Jeho nevýhoda spočívá v zbytečně velké časové prodlevě kolem osy rotace snímaného prostoru. Používá se u střeleckých zaměřovacích systémů.

Systém s rastrovým snímáním prostoru vyhledává podobným svazkem elektromagnetických vln po řádcích a sloupcích tak, že snímá jednotlivé úseky v řádku, kde na konci musí prudce změnit směr a pokračuje na dalším řádku. Rychlé změny směru nejsou vhodné pro mechanické manipulování se svazkem, proto se většinou slučuje mechanické ovládání s elektronickým vychylováním vln nebo plně elektronickým ovládáním. Hlavním nedostatkem 3D systémů je velké navýšení doby snímání oproti 2D systémům. Radar musí vytvářet dostatečně dlouhé pomlky mezi vyzařováním, aby se mohly vrátit vlny i od vzdálených objektů. Výhodou těchto systémů je podstatně menší vysílaný výkon. Tyto antény lze pro zvýšení rychlosti nasnímání prostoru modifikovat vícesvazkovým emitorem. Jednotlivé svazky se navzájem frekvenčně odliší. [11]

1.3.3 Dle typu a způsobu vysílání

1.3.3

Aktivní radar

Primární radar – klasický radar, který vysílá a přijímá vlny buďto impulsně nebo má oddělený vysílač a přijímač a může vysílat nepřetržitě. Používá se zejména k vojenským účelům (zjišťování raket, dělostřeleckých pozic aj.), pozorování přírodních úkazů (meteorologické radary, geodetické radary), k měření rychlosti (bezpečnost silničního provozu), dále také jako různá čidla, detektory pohybu apod. [11]

Sekundární radar - je v podstatě komunikátor. Na Zemském povrchu se nachází „dotazovač“ – sekundární radiolokátor, který vysílá v pravidelných intervalech. Radar na palubě letadla zachytí vysílání dotazovače, a pomocí „odpovídače“ odešle speciální kód (přesně stanovené impulsy s prodlevou), který je mu přidělen od Řízení letového provozu. Odpovídač může mít i vlastní systém zjišťování výšky letadla a tento údaj může být připojen k informacím odesílaným odpovídačem. Signál od Odpovídače je zachycen anténou sekundárního radaru a zpracován. [11]

Pasivní radar

Pouze přijímá vlnění vysílané jinými objekty. Zdroje mohou být přímo na sledovaných objektech (letouny, radiostanice, mobilní telefony apod.) nebo to mohou být signály od externích zdrojů (televizní signál, GPS). Pasivní radar nelze odhalit jeho vlastním provozem, neboť jeho elmag. vyzařování je téměř nulové. Využití nacházejí v doplnění přehledu letové situace na letištích nebo jako výzvědné radary na nepřátelských územích. [11]

Pasivní radary využívají metod:

Dopplerovská - vyhodnocují Dopplerův posuv frekvence, lze vypočítat vzdálenost a rychlost od přijímače, kvůli dostatečné přesnosti je zapotřebí více přijímačů a časově delšího úseku pozorování

Směroměrná – přijímače sledují směr příchodu signálu, při větším počtu rozmístěných antén lze určit přesně polohu objektu

Časoměrná – více antén měří čas příchodu signálu, z rozdílu lze určit polohu objektu, tato metoda oproti směroměrné metodě je výhodná z hlediska jednodušší konstrukce antény a přesnějšího měření (antény jsou od sebe ve vzdálenosti několik km) [11]

Radar se syntetickou aperturou

Je to druh radaru, který vysílá elektromagnetické vlnění po směru svého pohybu několikrát na jedno místo, odražené vlny se zpracovávají. Díky několikanásobnému údaji o objektu lze vytvořit za použití Fourierovy transformace tzv. mapu odrazivosti, čímž lze sestavit reliéf povrchu. Hojně se používá u satelitů k mapování Zemského povrchu, reliéfu pod hladinou oceánů. [11]

Ostatní radary

Pro leteckou civilní dopravu

Pozemní přehledový radar – vytváří přehled o vzdušné situaci do vzd. 200 – 300 km a výšky 10 – 15 km

Přibližovací radar – pomáhá zlepšit přistávací manévry a doplňuje informace o pohybu letounu nad přistávací dráhou

Pojezdový radar – monitoruje pohyb na letišti, překážky

Palubní radar – monitoruje vzdušný prostor nejčastěji před a pod letounem, komunikuje se sekundárním radarem letiště

Pro lodní dopravu

Palubní radary – zkoumají prostor okolo lodi, upozorňují na blízké objekty

Ochrana

Radary PVO – ProtiVzdušná Ochrana - sledují objekty na obloze, zjišťují stav Přítel/Nepřítel

Senzorové radary – detekují vniknutí osob do objektů

Zkoumání přírodních jevů

Meteorologický radar - používá se k detekci srážkové oblačnosti. V České republice jsou pro meteorologickou předpověď postaveny 2 radary, jeden v Brdech v Čechách a druhý ve Skalkách na Moravě. Další mohou být součástí letišť.

Geologický radar – zkoumá podloží podle odrazů jednotlivých vrstev

Satelitní radar – nejčastěji radary se syntetickou aperturou, zkoumají povrchy planet

Speciální použití

Výškoměry – používají se u vrtulníků, letadel

Hladinoměry – zjišťují výšku hladiny v zásobnících

Protisrážkové radary – predikují možnost srážky s cizím vozidlem

Měření rychlosti vozidel – použití v kontrole silničního provozu PČR

Kontrola staveb – zjišťují vzduchové bubliny uvnitř betonu

1.4 Druhy radarových antén

1.4

Reflektorové antény

Primární vyzařovač je nasměrovaný na reflektorovou plochu radaru. svazek lze směřovat v jedné rovině úzký a v druhé rovině podle potřeby. Používají se 3 druhy uspořádání – v ohnisku, Cassegrainovo a offsetové uspořádání. Jsou to nejčastěji používané antény.

Fázované anténní plochy

Anténa je složená s elementů, které vysílají a přijímají signál. Signál dopadající na elementy je fázově zpožděný. Z elementů putuje signál do posouvače fáze. Jednotlivé fáze jsou nyní stejné. Putují do sumátoru, který jednotlivé složky spojí a předá k vyhodnocení. Jednotlivým posouváním fáze složek lze tedy zjistit, pod jakým úhlem dopadly na elementy. Správný úhel se projeví největší výchylkou amplitudy. Nevýhoda spočívá v zvětšování elementů v závislosti na dopadajícím úhlu. Prakticky se tyto antény používají do $\pm 45^\circ$.

1.5 Rozdělení nosných konstrukcí

1.5

Konstrukce pro polohování radaru jsou nejčastěji vymyšleny atypicky pro splnění požadavků. Přesto mají společné základní prvky, dají se proto rozdělit následovně:

- a) konstrukce statické
- b) konstrukce otočné
- c) konstrukce mobilní

V případě varianty A jsou to zejména radary s elektromagnetickým vychylováním vysílaného svazku vln. Tyto typy radiolokátorů jsou namířeny jedním směrem a nelze s nimi pohybovat bez demontáže, díky vychýlení svazku měří jen v omezeném prostoru azimutu a elevace. Podle velikosti a hmotnosti radarové antény je přizpůsoben její koncept, zpravidla prutová konstrukce.



Obr.1-5 Radar Cobra Dane na ostrově Shemya, Aljaška [40]

Pro nutnost skenovat celou viditelnou oblohu, tedy azimut $0-360^\circ$ a elevace $0-90^\circ$, se hodí varianta B. Sem patří zejména snímání 2D a 2x2D. Konstrukce mají otočné mechanismy konstruovány zpravidla s krokovými motory pro zajištění přesné polohy a samosvornými převodovkami pro zajištění stálé nastavené polohy. Otáčení je realizováno pomocí ložisek.



Obr.1-6 Primární přehledový radar RL-2000 [41]

Pro mobilní konstrukce (varianta C) jsou kritéria specifická podle místa použití.



Obr.1-7 Boeing E-3 Sentry [42]

1.6 Vývoj radarů v ČR

1.6

Pasivní radiolokátory do roku 1989 vyráběla firma Tesla, n.p. Vyvinula radary Kopáč, Ramona, Tamara a Věra. Dnes je část podniku Tesla zabývající se radiolokátory součástí firmy ERA [16].

Věra – systém obsahuje hlavní středisko zpracování informací a 2 nebo 3 antény pro příjem. Informace se přenášejí z jednotlivých antén pomocí mikrovln. Celý systém je schopný sledovat plně ve 3D až 200 objektů v celém azimutu. Výroba a prodej započal roku 1991. Vyrábí se ve verzích Věra-AP (civilní verze), Věra-E (vojenská verze), Věra-S/M (vojenská verze pro ČR), Věra-P3D (verze pro pozemní cíle a letiště). [16]



Obr.1-8 Pasivní radiolokátor Věra [43]

2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA

2.1 Formulace řešeného problému

zadané parametry:

- umožnění otáčení v azimutu $0^\circ - 360^\circ$, možnost stálého otáčení libovolným směrem
- rychlost otáčení v azimutu 5 ot/min, tolerance přesnosti natočení $0,8^\circ$
- rozsah natočení v elevaci $-1^\circ - 91^\circ$, tolerance přesnosti natočení $0,8^\circ$
- pohon s odměřováním musí umožňovat informaci o aktuální pozici
- sledovací zařízení bude situované na zemi, nekryté
- rozsah pracovních teplot $-30^\circ\text{C} - +40^\circ\text{C}$
- napájecí napětí 3x400V
- nutnost konstrukci přizpůsobit většímu nárazovému větru
- součástí zadání není ochrana zásahem blesku
- hmotnost parabolické antény 10kg.

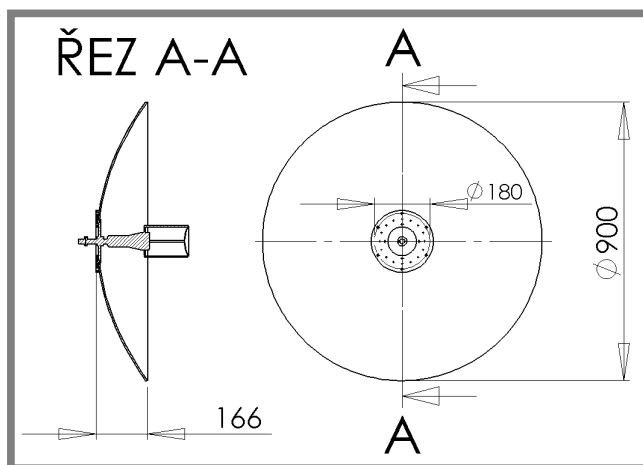
2.2 Technická analýza

Předpokládaná pozice radaru bude na vrcholu hory Milešovka ve středních Čechách s nadmořskou výškou 836m. Radar bude umístěný na betonovém podkladu, bude pracovat v povětrnostních podmínkách:

- Předpokládaná celková hmotnost 200kg
- Rychlost větru: 0-130 km/h
- Teplotní interval: $(-30,40)^\circ\text{C}$
- Přímý sluneční svit
- Přímý déšť
- Mráz
- Sníh

Dále je požadován údržbový interval v rozsahu minimálně 2-3 roky.

Zadaná anténa má okrajový průměr 900mm, příruba pro uchycení má vytvořených 6 závitových děr na roztečné kružnici o $\varnothing 180\text{mm}$. Celkový tvar s hlavními rozměry je znázorněn na obr.11.



Obr.2-1 Rozměrové zadání paraboly

3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

3

Cílem diplomové práce je navrhnout konstrukci pro polohování s radiolokátorovou parabolou v elevaci a azimutu dle zadané přesnosti v oddíle 2.1, dále spočítat potřebné výkony obou servomotorů k otáčení v azimutu a elevaci, vytvořit výkres celé sestavy a 2 výrobní výkresy.

4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

4.1 Rešerše

Prvním krokem je prozkoumání oblasti řešeného problému. Je důležité pochopit fungování radiolokátorů a principy otáčení a skenování prostoru pro vhodné navržení konstrukce.

4.2 Návrh variant a rozmístění jednotlivých prvků

Jednotlivé varianty musí splňovat všechny požadavky uvedené v kapitole 2. Vzhledem k vysokým nárokům kladeným na konstrukci bude počet variant velmi omezený.

4.3 Posouzení variant a výběr finální podoby

Jednotlivé varianty se posoudí z hlediska technické náročnosti, realizovatelnosti a cenové relace. Na základě těchto kritérií se vybere jediná konstrukce, která bude představovat konečný návrh.

4.4 Návrh konstrukce

Vybraná varianta bude namodelována ve virtuálním 3D počítačovém rozhraní. Všechny části namáhané silovými účinky budou propočítány z hlediska namáhání.

4.5 Posouzení konstrukce

Po vytvoření konečné sestavy bude návrh zkontrolován z hlediska splnění zadaných parametrů.

4.6 Výběr software

Pro 3D modeling a výkresovou dokumentaci je vybrán program Solidworks 2009 od Dassault Systèmes SolidWorks Corp., výpočtová a textová část bude provedena v produktu Microsoft Office® 2007, konkrétně programy Excel a Word.

5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

1

5.1 Návrh variant řešení

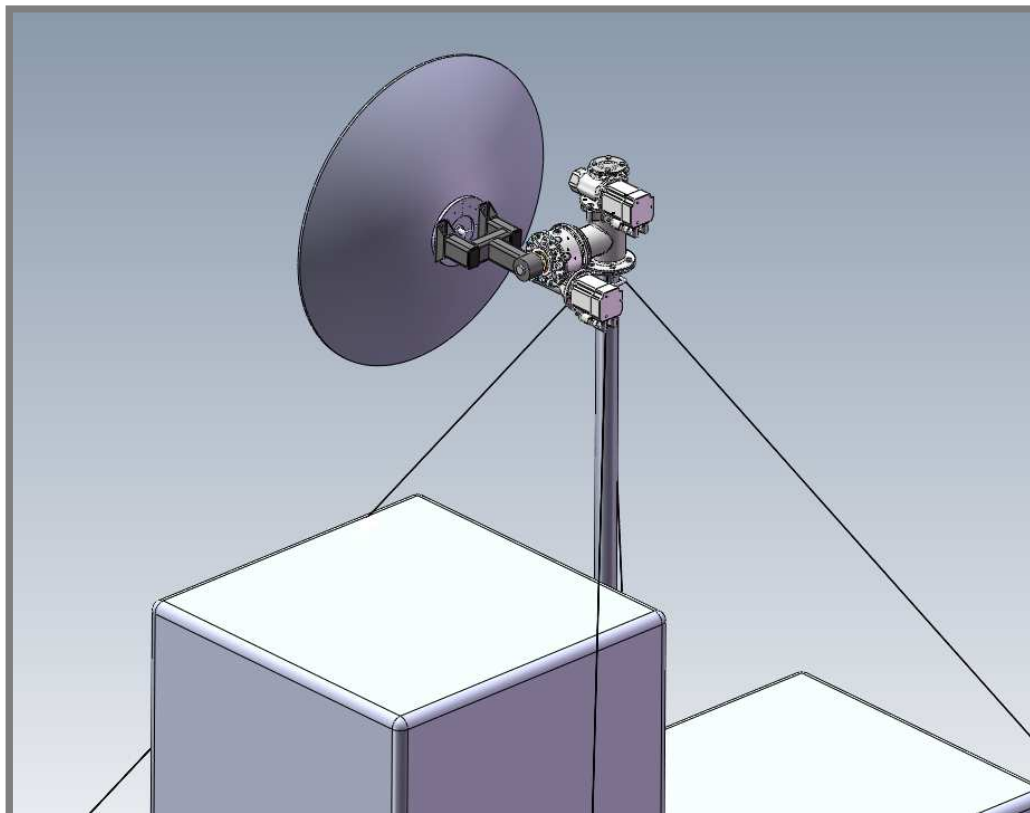
5.1

Pro návrh konstrukce s ohledem na zadané parametry vyhovují 2 konstrukce. Obě umožňují kontinuální natáčení v azimutu a zadané natáčení v elevaci.

5.1.1 Varianta 1

5.1.1

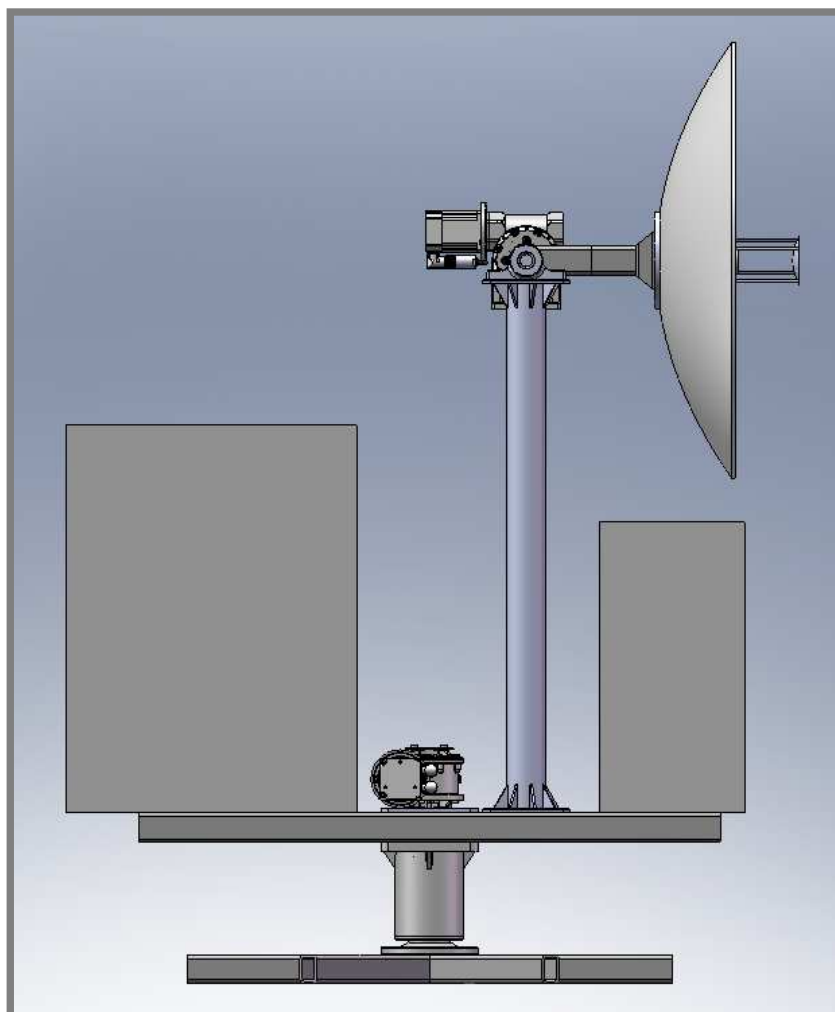
První varianta je tvořena nosnou trubkou, na jejímž vrcholu je uložena hřídel s ložisky a přírubovým odlitkem. Na vrchní straně odlitku je přišroubovaná převodovka s ovládacím elektromotorem umožňujícím otáčení v azimutu. Kroužkové sběrače umožňují pohyb kolem svislé osy bez omezení počtu otáček na libovolnou stranu před reverzací. Příruha je opatřena ofrézovaným nálitkem, kde je vložena druhá hřídel s ložisky. Zde je umístěna převodovka s elektromotorem, jež umožňují pohyb paraboly v elevaci. Nosná trubka antény je nehybná, lze ji snadno ukotvit ocelovými lany k zemi a snížit tak napětí v ohybu. Trubka proto může být malého vnějšího průměru a anténu lze situovat vysoko nad úroveň pozemních překážek, jako jsou ploty či lidské postavy. Rozváděcí a ovládací skříň lze také jednoduše vyvýšit nad úroveň povrchu především z důvodu tekoucí povrchové vody po silnějším dešti. Celou konstrukci charakterizuje obr.12.



Obr.5-1 1.varianta návrhu konstrukce

5.1.2 Varianta 2

Druhá varianta je specifická svou otočnou plošinou, kde je situována robustní nosná trubka s uložením antény, rozváděcí a ovládací skříň, převodovka a elektromotor. Celá plošina je otáčena pomocí kompaktního hřídelového uložení, které je z jedné strany spojeno hřídelí přes přírubu ke svařenci z obdélníkových trubek kotvících soustavu do země a z druhé strany přes litinové otočné tělo spojené s plošinou. Uložení antény je realizováno ložiskovými tělesy k horní přírubě nosné trubky. Hřídel je z boku spojená s převodovkou a elektromotorem a konzolou pro uchycení antény. Variantu 2 charakterizuje obrázek 13.



Obr.5-2 2.varianta návrhu konstrukce

5.2 Zhodnocení variant a výběr optimální varianty

5.2

5.2.1 Zhodnocení variant

5.2.1

První varianta

Výhody

Konstrukce je jednoduchá, kompaktní, lehká a levná.

Ukotvením lany do země nebude nosná trubka zatěžována téměř žádnou silou vanoucího větru.

Veškeré pohyblivé části lze situovat vysoko nad úroveň terénu, vysílanému signálu proto nebude překážet žádný objekt na zemi vyjma vysokých stromů.

Je vyloučen kontakt lidských osob s vysílaným mikrovlnným zářením.

Přístup k ovládací a rozváděcí skříni je snadno dostupný.

Nevýhody

Je zapotřebí bezdrátového spojení mezi anténou a ovládací skříni.

Kotvící lana mohou být nebezpečná z hlediska zranění obsluhy při přehlédnutí.

Má velký zástavný půdorys díky kotvení lany.

Druhá varianta

Výhody

Umožňuje přímé spojení mezi anténou a ovládací skříni.

Přístup k ovládací a rozváděcí skříni je snadno dostupný.

Nevýhody

Pro otáčení s parabolou je nutné otáčet také s ovládací a rozváděcí skříni, což způsobuje druhotné zatížení.

Anténu nelze kvůli velkému ohybovému napětí situovat vysoko nad povrch terénu.

Není vyloučen kontakt lidských osob s vysílaným mikrovlnným zářením.

5.2.3 Výběr optimální varianty

5.2.3

První varianta je výhodnější díky poloze antény a lehčí konstrukci. Druhá varianta je výhodnější díky možnosti spojit anténu s ovládací skříni přímým vodičem. Procházející data skrz kroužkové sběrače v první variantě by se mohly při provozu poškodit a znehodnotit výsledky měření. Použití bezdrátového spojení by bylo příliš technologicky problematické a nákladné.

Vybrána je druhá varianta.

6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VYBRANÉ VARIANTY

Návrh konstrukce vychází z výpočtu působícího namáhání vanoucího větru vůči parabole. Norma ČSN 270103 [8] pro konstrukce jeřábových systémů uvažuje nejvyšší tlakové zatížení větrem 500Pa. Z přepočtu dle vzorce v bodě 29 normy ČSN 270103 [8] vychází maximální rychlost větru 28,3m/s, zadaná maximální rychlost větru je však 36m/s, ve výpočtech se bude proto uvažovat vyšší hodnota 36m/s.

Prvně bylo nutné stanovit minimální kroutící moment servomotoru ze zatěžujícího momentu vanoucím větrem a vyvíjeném momentu pro roztočení celé konstrukce. Byla spočítána dynamická únosnost ložisek, na jejímž základě se vybraly ložiska pro spodní a horní uložení hřídele. Také se stanovily předběžné rozměry nosné trubky a početně se ověřily.

Další postup spočíval v kompletním rozměrovém navržení obou uložení hřídelí. Pro tyto návrhy bylo zapotřebí propočítat kombinované namáhání hřídelí, zároveň se provedl kontrolní výpočet namáhání v krutu spodního hřídele a nosné konzoly.

Servomotory, šnekové převodovky a další komponenty byly vybrány z katalogů dodavatelů dle příslušných vypočtených hodnot. Modely ložiskových těles, servomotorů a převodovek byly poskytnuty výrobcem. Normalizované díly (jako šrouby, matice, podložky, ložiska, ocelové profily aj.) byly vytvořeny pomocí nástroje Toolbox, který je součástí programu Solidworks. Ostatní nenormalizované díly byly schematicky vymodelovány.

Katalogové prvky konstrukce byly voleny s ohledem na své výrobní specifikace (např. stupeň krytí IP, rozsah pracovních teplot, interval čistící a mazací prodlevy), velikost, cenu, skladovou dostupnost atd.

Jednotlivé komponenty budou dále podrobně rozepsány v příslušných kapitolách.

6.1 Výpočetní část konstrukčního řešení

Ze zadání v oddíle 2 vyplývají tyto hodnoty, které budou použity dále v jednotlivých výpočtech:

$$v = 40 \text{ m.s}^{-1}$$

$$m_{\text{ant}} = 10 \text{ kg}$$

$$n_{\text{rad}} = 5 \text{ ot.min}^{-1}$$

$$\varphi_{\text{tol}} = 0,8^\circ$$

$$r_{\text{ant}} = 0,45 \text{ m}$$

kde:

m_{ant} kg - váha paraboly s emitorem

n_{rad} ot.min⁻¹ - otáčky radaru

v m.s⁻¹ - maximální uvažovaná rychlost vanoucího větru

φ_{tol}	°	- tolerance přesnosti natočení
r_{ant}	m	- poloměr okraje antény

6.1.1 Výpočet zatěžující síly od působení vanoucího větru

6.1.1

Pro výpočet zatížení větrem je důležité stanovit následující parametry:

$$\begin{aligned}c &= 1,3 \\L_0 &= 0,2 \text{ m} \\L_1 &= 0,43 \text{ m} \\q &= 1 \text{ kg.m}^{-3}\end{aligned}$$

kde:

c	-	- součinitel tvaru paraboly
L_0	m	- horizontální vzdálenost osy otáčení a osy nosiče paraboly
L_1	m	- vertikální vzdálenost osy otáčení a osy nosiče paraboly
q	kg.m ⁻³	- hustota vzduchu

Vzhledem k tomu, že se antény natáčí vůči směru vanoucího větru, bude potřeba analyzovat celý průběh napětí v jednotlivých úhlových stupních v rozsahu 0-90°. Anténa navíc bude měnit svoji průmětnou plochu (kolmá plocha na směr působení větru) při natáčení. Proto budou vzorce 1-6 popsány pouze obecně bez dosazení.

Výpočet průmětné plochy antény

Pro úhel 0° (průmětna je kružnice)

$$S = \pi r_{ant}^2 \quad (1)$$

kde:

S	m ²	- průmětná plocha antény
r_{ant}	m	- poloměr okraje antény

Pro úhel 1°-90° (průmětna je elipsa)

$$S = \pi ab \quad (2)$$

kde:

S	m ²	- průmětná plocha antény
a	m	- hlavní poloměr elipsy
b	m	- vedlejší poloměr elipsy

Hlavní poloměr elipsy a je vždy roven poloměru okraje antény r . Vedlejší poloměr elipsy se mění v závislosti na úhlu natočení.

Výpočet vedlejšího poloměru elipsy b

$$b = r \cos \alpha \quad (3)$$

kde:

b	m	- vedlejší poloměr elipsy
r	m	- poloměr okraje antény
α	°	- úhel natočení antény vůči vanoucímu větru

Výpočet síly vyvozený tlakem vanoucího větru na plochu antény

$$F = \frac{S c q v^2}{2} \quad (4)$$

kde:

F	N	- vyvozená síla
S	m ²	- průmětná plocha antény
c	-	- součinitel tvaru paraboly
v	m.s ⁻¹	- maximální uvažovaná rychlost vanoucího větru

Výpočet momentu v horizontální rovině

$$M_{v_{hor}} = F L_0 \quad (5)$$

kde:

$M_{v_{hor}}$	Nm	- moment v horizontální rovině
F	N	- vyvozená síla
L_0	m	- horizontální vzdálenost osy otáčení a osy nosiče paraboly

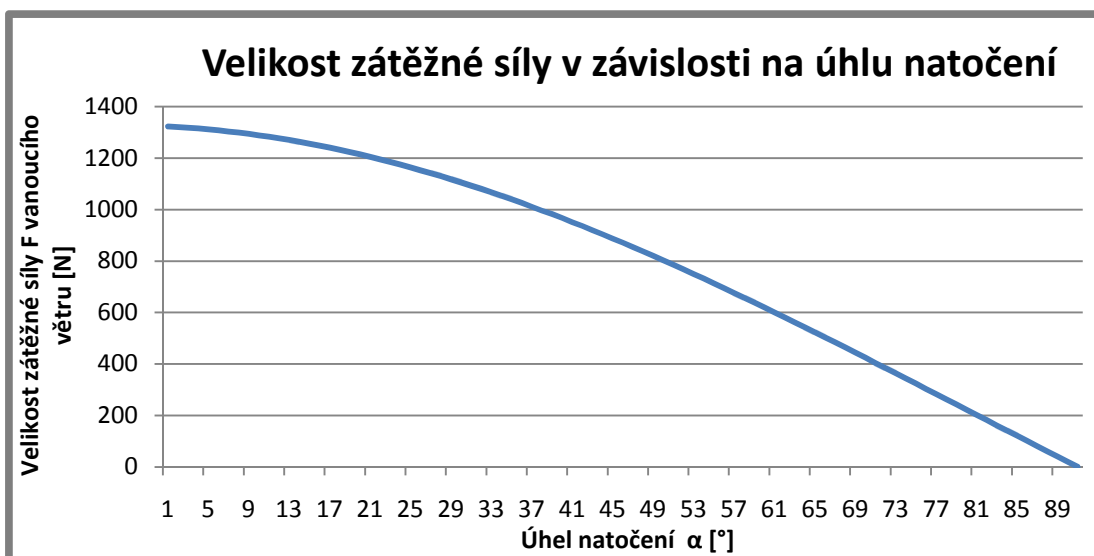
Výpočet momentu ve vertikální rovině

$$M_{v_{ver}} = F L_1 \quad (6)$$

kde:

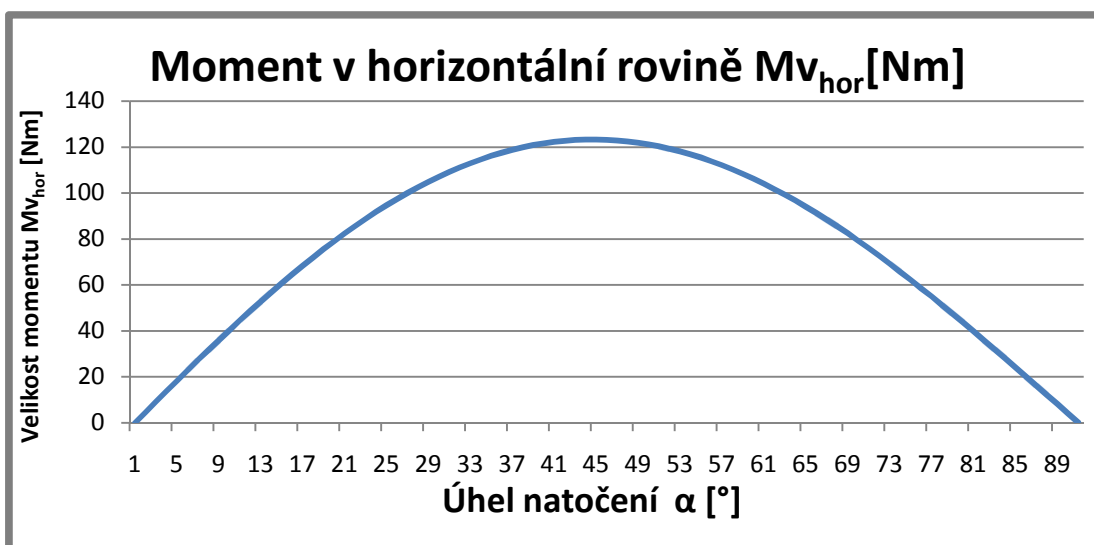
$M_{v_{ver}}$	Nm	- moment ve vertikální rovině
F	N	- vyvozená síla
L_1	m	- vertikální vzdálenost osy otáčení a osy nosiče paraboly

Pro výpočet v úhlovém rozsahu 0°-90° je vhodné tyto vzorce zadat do tabulky programu Excel. Značně se tím urychlí celý výpočet. Tabulka s hodnotami jednotlivých výsledků je podrobně popsána v příloze č.4. Z hodnot příslušných sloupců jsou vytvořené následující grafy, z nichž se zjistí maximální hodnoty.



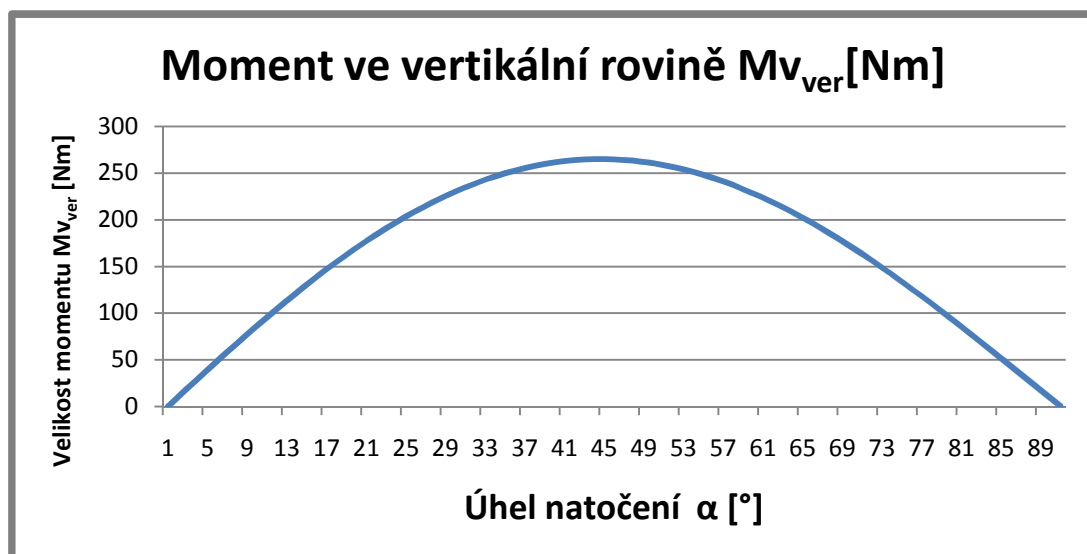
Graf 6-1 Průběh velikosti zátěžné síly v závislosti na úhlu odklonu jejího směru od osy paraboly

Maximální hodnota zátěžné síly F je v úhlu 0° , její velikost je 1322,568 N.



Graf 6-2 Průběh velikosti horizontálního zátěžného kroutícího momentu vzniklého působením zátěžné síly v závislosti na úhlu odklonu síly od osy paraboly

Maximální hodnota momentu $M_{v_{hor}}$ je v úhlu 44° a velikost je 123,288 Nm.



Graf 6-3 Průběh velikosti vertikálního zátěžného kroutícího momentu vzniklého působením zátěžné síly v závislosti na úhlu odklonu síly od osy paraboly

Maximální hodnota momentu $M_{v_{ver}}$ je v úhlu 44° a velikost je 265,07 Nm.

Momenty $M_{v_{hor}}$ a $M_{v_{ver}}$ jsou vztaženy k ose otáčení paraboly dle obrázku XX.

6.1.2 Výpočet a výběr servomotorů

Pro výpočet servomotorů je důležité stanovit následující parametry:

$$t = 0,1 \text{ s}$$

$$I_{př} = 100$$

$$I = 38 \text{ kgm}^2 \text{ (z programu Solidworks)}$$

$$m_{ant} = 10 \text{ kg}$$

$$L_t = 0,4 \text{ m (z předběžného modelu)}$$

kde:

t	s	- čas zrychlení z 0 na maximum
$I_{př}$	-	- převodové číslo převodovky
I	kgm^2	- moment setrvačnosti předběžného modelu
L_t	m	- vzdálenost těžiště antény od osy otáčení antény
m_{ant}	kg	- váha paraboly s emitorem

Výpočet úhlové rychlosti otáčení radaru

$$\omega_{rad} = \frac{2\pi n_{rad}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 5 \text{ ot.min}^{-1}}{60} = 0,5235833 \text{ rad.s}^{-1} \quad (7)$$

kde:

ω_{rad}	rad.s^{-1}	- úhlová rychlost otáčení radaru
n_{rad}	ot.min^{-1}	- otáčky radaru

Výpočet kinetické energie radaru při maximálních otáčkách

$$Ek_{rad} = \frac{I\omega_{rad}^2}{2} = \frac{38 \text{ kg.m}^2 * 0,5235833^2 \text{ rad.s}^{-1}}{2} = 5,20865 \text{ J} \quad (8)$$

kde:

Ek_{rad}	J	- kinetická energie radaru
I	kg.m^2	- moment setrvačnosti předběžného modelu
ω_{rad}	rad.s^{-1}	- úhlová rychlost otáčení radaru

Výpočet práce potřebné k zrychlení na maximální otáčky

$$W = Ek_{rad} = 5,20865 \text{ J} \quad (9)$$

kde:

W	J	- práce při zrychlení
Ek_{rad}	J	- kinetická energie radaru

Výpočet potřebného výkonu k zrychlení na maximální otáčky

$$P = \frac{W}{t} = \frac{5,20865 \text{ J}}{0,1 \text{ s}} = 52,0865 \text{ W} \quad (10)$$

kde:

P	W	- výkon potřebný ke zrychlení
W	J	- práce při zrychlení
t	s	- čas zrychlení z 0 na maximum

Výpočet momentu potřebného k zrychlení na maximální otáčky

$$M_{ot} = \frac{P}{\omega_{rad}} = \frac{52,0865 \text{ W}}{0,523583 \text{ rad.s}^{-1}} = 99,48 \text{ Nm} \quad (11)$$

kde:

M_{ot}	Nm	- kroutící moment potřebný k zrychlení na maximální otáčky
P	W	- výkon potřebný ke zrychlení
ω_{rad}	rad.s^{-1}	- úhlová rychlost otáčení radaru

Výpočet celkového překonávaného kroutícího momentu

$$Mc_{rad} = Mv_{hor} + M_{ot} = 123,288 \text{ Nm} + 99,48 \text{ Nm} = 222,769 \text{ Nm} \quad (12)$$

kde:

$M_{c_{rad}}$	Nm	- celkový překonávaný kroutící moment
M_{ot}	Nm	- kroutící moment potřebný k zrychlení na maximální otáčky
$M_{v_{hor}}$	Nm	- moment v horizontální rovině

Výpočet minimálního výkonu servomotoru

$$P_{servo} = M_{c_{rad}} \omega_{rad} = 222,768 \text{ Nm} * 0,523583 \text{ rad.s}^{-1} = 116,638 \text{ W} \quad (13)$$

kde:

P_{servo}	W	- minimální výkon servomotoru
$M_{c_{rad}}$	Nm	- celkový překonávaný kroutící moment
ω_{rad}	rad.s ⁻¹	- úhlová rychlost otáčení radaru

Výpočet otáček servomotoru

$$n_{servo} = n_{rad} I_{př} = 5 \text{ ot.min}^{-1} * 100 = 500 \text{ ot.min}^{-1} \quad (14)$$

kde:

n_{servo}	ot.min ⁻¹	- otáčky servomotoru
n_{rad}	ot.min ⁻¹	- otáčky radaru
$I_{př}$	-	- převodové číslo převodovky

Výpočet úhlové rychlosti servomotoru

$$\omega_{servo} = \frac{2\pi n_{servo}}{60} = \frac{2*3,14*500 \text{ ot.min}^{-1}}{60} = 52,36 \text{ rad.s}^{-1} \quad (15)$$

kde:

ω_{servo}	rad.s ⁻¹	- úhlová rychlost servomotoru
n_{servo}	ot.min ⁻¹	- otáčky servomotoru

Výpočet minimálního kroutícího momentu servomotoru

$$M_{servo} = \frac{P_{servo}}{\omega_{servo}} = \frac{116,638 \text{ W}}{52,36 \text{ rad.s}^{-1}} = 2,2276 \text{ Nm} \quad (16)$$

kde:

M_{servo}	Nm	- kroutící moment servomotoru
P_{servo}	W	- minimální výkon servomotoru
ω_{servo}	rad.s ⁻¹	- úhlová rychlost servomotoru

Na základě vypočtené hodnoty v rovnici 16 je vybrán od společnosti Raveo [17] typ servomotoru ECOSTEP 34S42-0560-A05LA-AA pro otáčení spodním hřídelem. Tento servomotor dosahuje statického momentu 3,5 Nm, nominálního momentu 2,5 Nm, jeho maximální otáčky jsou 500 ot/min. Motor dokáže zpětně informovat o aktuální poloze. Jeho další parametry jsou: počet pólů 50, průměr příruby 86mm, délka servomotoru 114mm.

Pro řízení servomotoru je vhodné použít řídicí jednotku ECOVARIO také od firmy RAVEO [17]. Tyto enkodéry mají rozlišení 8000-16000 pulsů na jednu otáčku. Na adrese

http://www.jenaertriebstechnik.de/download/ecosoftware/ECOSuite_2.0.0.1_20100118.zip lze pro řídicí jednotky ECOVARIO stáhnout software pro programování činností servomotorů.

Výpočet zátěžné síly od hmotnosti antény

$$F_{ant} = m_{ant} * g = 10 \text{ kg} * 9,81 \text{ m.s}^{-2} = 98,1 \text{ N} \quad (17)$$

kde:

F_{ant}	N	- silové zatížení hmotností antény
m_{ant}	kg	- váha paraboly s emitorem
g	m.s^{-2}	- tíhové zrychlení

Výpočet zátěžného momentu od hmotnosti antény

$$Mk_{ant} = F_{ant}L_t = 98,1 \text{ N} * 0,4 \text{ m} = 39,24 \text{ Nm} \quad (18)$$

kde:

Mk_{ant}	Nm	- momentové zatížení hmotností antény
F_{ant}	N	- silové zatížení hmotností antény
L_t	m	- vzdálenost těžiště antény od osy otáčení antény

Výpočet celkového překonávaného kroutícího momentu antény

$$Mc_{ant} = Mv_{ver} + Mk_{ant} = 265,07 \text{ Nm} + 39,24 \text{ Nm} = 304,309 \text{ Nm} \quad (19)$$

kde:

Mc_{ant}	Nm	- celkové momentové zatížení antény
Mk_{ant}	Nm	- momentové zatížení hmotností antény
Mv_{ver}	Nm	- moment ve vertikální rovině

Výpočet minimálního výkonu servomotoru antény

$$P_{servo-ant} = Mc_{ant} \omega_{rad} = 304,309 \text{ Nm} * 0,523583 \text{ rad.s}^{-1} = 159,337 \text{ W} \quad (20)$$

kde:

$P_{servo-ant}$ W - minimální výkon servomotoru antény

Mc_{ant} Nm - celkové momentové zatížení antény

ω_{rad} rad.s⁻¹ - úhlová rychlost otáčení radaru

Výpočet minimálního kroutícího momentu servomotoru antény

$$M_{servo-ant} = \frac{P_{servo-ant}}{\omega_{servo}} = \frac{159,337 \text{ W}}{52,36 \text{ rad.s}^{-1}} = 3,043 \text{ Nm} \quad (21)$$

kde:

$M_{servo-ant}$ Nm - kroutící moment servomotoru antény

$P_{servo-ant}$ W - minimální výkon servomotoru antény

ω_{rad} rad.s⁻¹ - úhlová rychlost otáčení radaru

Pro otáčení horním hřídelem je zvolen stejný servomotor jako pro otáčení spodním hřídelem.

6.1.3 Kontrolní výpočet spodního hřídele

Rozměry hřídele jsou prvně zvoleny, poté ověřeny výpočtem na namáhání v krutu. Také je vypočítána velikost úhlového natočení vlivem zatížení.

Pro početní kontrolu spodního hřídele je tedy důležité stanovit následující parametry:

$$r = 0,02 \text{ m}$$

$$R = 0,03 \text{ m}$$

$$m = 200 \text{ kg}$$

kde:

m kg - maximální váha celé konstrukce

r m - vnitřní poloměr spodního hřídele

R m - vnější poloměr spodního hřídele

Výpočet síly zatížením hmotností konstrukce

$$F_{tl} = mg = 200 \text{ kg} * 9,81 \text{ m.s}^{-2} = 1962 \text{ N} \quad (22)$$

kde:

F_{tl} N - síla od hmotnostního zatížení

g m.s⁻² - tíhové zrychlení

Výpočet plochy mezikruží nosné trubky

$$S_{tr} = (\pi R^2) - (\pi r^2) = (3,14 * 0,03^2 \text{ m}) - (3,14 * 0,02^2 \text{ m}) = 1,57 * 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (23)$$

kde:

S_{tr}	m^2	- plocha mezikruží nosné trubky
r	m	- vnitřní poloměr spodního hřídele
R	m	- vnější poloměr spodního hřídele

Výpočet modulu mezikruží v krutu

$$Wk = \frac{\frac{\pi}{16}((2R)^4 - (2r)^4)}{2R} = \frac{\frac{3,14}{16}((2*0,03 \text{ m})^4 - (2*0,02 \text{ m})^4)}{2*0,03 \text{ m}} = 3,4034 * 10^{-5} \text{ m}^3 \quad (24)$$

kde:

Wk	m^3	- modul průřezu v krutu
r	m	- vnitřní poloměr spodního hřídele
R	m	- vnější poloměr spodního hřídele

Výpočet napětí v tlaku

$$\sigma_{tl} = \frac{F_{tl}}{S_{tr}} = \frac{1962 \text{ N}}{1,57*10^{-3} \text{ m}^2} = 1249047,993 \text{ Pa} = 1,25 \text{ MPa} \quad (25)$$

kde:

σ_{tl}	Pa	- napětí v tlaku
F_{tl}	N	- síla od hmotnostního zatížení
S_{tr}	m^2	- plocha mezikruží nosné trubky

Výpočet napětí v krutu

$$\tau_{kr} = \frac{M_{c_{rad}}}{Wk} = \frac{222,7688 \text{ Nm}}{3,4034*10^{-5} \text{ m}^3} = 6545495,286 \text{ Pa} = 6,5455 \text{ MPa} \quad (26)$$

kde:

τ_{kr}	Pa	- napětí v krutu
$M_{c_{rad}}$	Nm	- celkový překonávaný krouťící moment
Wk	m^3	- modul průřezu v krutu

Pro posouzení kombinovaného napětí se používají 2 podmínky plasticity, a to HMH a maxτ. Podmínka maxτ je kritičtější, proto bude použita i v následujícím výpočtu.

Kontrola v oblasti mezi ložisky pro kombinované napětí v krutu a ohybu dle podmínky $\max \tau$

$$\sigma_{red} = (\sigma_{tl}^2 + 4 * \tau_{kr}^2)^{\frac{1}{2}} = (1249048^2 Pa + 4 * 6545495,3^2 Pa)^{\frac{1}{2}} = 11405728,67 Pa = 11,4 MPa \quad (27)$$

kde:

σ_{red}	Pa	- redukované napětí při kombinovaném namáhání
σ_{tl}	Pa	- napětí v tlaku
τ_{kr}	Pa	- napětí v krutu

Podle výpočtu ve vzorci 27 vyšlo redukované napětí 11,4 MPa. Nosná trubka je z materiálu 11 375, jehož minimální dovolené napětí ve střídavém tahu je 60MPa. Nosná trubka je dimenzována s bezpečností 5,3.

Pro výpočet úhlového natočení hřídele je důležité stanovit následující parametry:

$$E = 2,1 * 10^{11} N.m^{-2}$$

$$L_{zk} = 0,27 m$$

$$\mu = 0,3$$

$$\sigma_{dov} = 1 * 10^8 Pa$$

kde:

E	$N.m^{-2}$	- modul pružnosti v tahu
L_{zk}	m	- délka hřídele namáhaná krutem
μ	-	- Poissonova konstanta materiálu
σ_{dov}	Pa	- dovolené napětí materiálu v tahu

Výpočet polárního momentu mezikruží

$$J_p = \frac{\frac{\pi}{32}((2R)^4 - (2r)^4)}{2R} = \frac{\frac{3,14}{32}((2*0,04 m)^4 - (2*0,02 m)^4)}{2*0,04 m} = 1,7017 * 10^{-5} m^3 \quad (28)$$

kde:

J_p	m^3	- polární modul průřezu
r	m	- vnitřní poloměr spodního hřídele
R	m	- vnější poloměr spodního hřídele

Výpočet modulu pružnosti ve smyku pro materiál 11 375

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} = \frac{2,1*10^{11} N.m^{-2}}{2*(1+0,3)} = 80769230769 N.m^{-2} \quad (29)$$

kde:

G	$N.m^{-2}$	- modul pružnosti v krutu
E	$N.m^{-2}$	- modul pružnosti v tahu
μ	-	- Poissonova konstanta materiálu

Výpočet úhlového natočení hřídele

$$\varphi_z = \frac{Mc_{rad}L_{zk}}{GJp} = \frac{222,7688 \text{ Nm} * 0,27 \text{ m}}{80769230769 \text{ N.m}^{-2} * 1,7017 * 10^{-5} \text{ m}^3} = 4,37613 * 10^{-5} \text{ rad} = 0,0025^\circ \quad (30)$$

kde:

φ_z	rad	- úhlové natočení spodního hřídele
G	N.m^{-2}	- modul pružnosti v krutu
Jp	m^3	- polární modul průřezu
Mc_{rad}	Nm	- celkový překonávaný kroutící moment
L_{zk}	m	- délka hřídele namáhaná krutem

6.1.4 Kontrolní výpočet horního hřídele

6.1.4

Horní hřídel bude z plného materiálu, výpočet bude proveden na základě největšího zjištěného namáhání. Zatížení bude tedy od horizontálního momentu jako ohybové zatížení nebo od vertikálního momentu jako zatížení v krutu.

Pro početní kontrolu hřídele je důležité stanovit následující parametry:

$$d_{hr} = 0,03 \text{ m}$$

kde

d_{hr}	m	- průměr horního hřídele
----------	---	--------------------------

Výpočet modulu hřídele v krutu

$$Wk = \frac{\pi d_{hr}^3}{16} = \frac{3,14 * 0,03^3 \text{ m}}{16} = 5,3 * 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (31)$$

kde:

Wk	m^3	- modul průřezu v krutu
d_{hr}	m	- průměr horního hřídele

Výpočet napětí v krutu

$$\tau_{kr} = \frac{Mv_{ver}}{Wk} = \frac{265,07 \text{ Nm}}{5,3 * 10^{-6} \text{ m}^3} = 49999507,55 \text{ Pa} = 50 \text{ MPa} \quad (32)$$

kde:

τ_{kr}	Pa	- napětí v krutu
Mv_{ver}	Nm	- moment ve vertikální rovině
Wk	m^3	- modul průřezu v krutu

Výpočet modulu hřídele v ohybu

$$W_o = \frac{\pi d_{hř}^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,03^3}{32} = 2,65 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (33)$$

kde:

W_o m^3 - modul průřezu v ohybu

$d_{hř}$ m - průměr horního hřídele

Výpočet napětí v ohybu hřídele

$$\sigma_{oh} = \frac{Mv_{hor}}{W_o} = \frac{123,288 \text{ Nm}}{2,65 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} = 46511169,81 \text{ Pa} = 46,51 \text{ MPa} \quad (34)$$

kde:

σ_{oh} Pa - napětí v ohybu

Mv_{hor} Nm - moment v horizontální rovině

W_o m^3 - modul průřezu v ohybu

Maximální dovolené napětí pro hřídel z materiálu 11 600 se pohybuje u statického krutu 105 MPa a statického ohybu 170 MPa. V případě namáhání krutem bude maximální napětí 50 MPa a bezpečnost 2, v případě ohybem 46,5 MPa a bezpečnost 3,7.

6.1.5 Výpočet velikosti ložisek

Největší posouvající síla od zatížení vanoucím větrem vyšla ve vodorovném směru osy paraboly. K této síle se připočte tíhová síla vyvolaná hmotností antény. Síly směřují kolmo na své nositelky, je nutné je sečíst.

Soustava je navržena pro kuželíková ložiska sestavená do tzv. tvaru "O". Zkontroluje se statická a dynamická únosnost.

Kontrolní výpočet ložisek byl proveden dle návodu výrobce SKF [18].

Pro početní kontrolu ložisek je důležité stanovit následující parametry:

$L_2 = 0,1 \text{ m}$

$L_3 = 1,5 \text{ m}$

kde

L_2 m - vzdálenost středů ložisek

L_3 m - osová výška paraboly nad prvním ložiskem

Následuje výpočet silových reakcí ložisek od zatížení.

Výpočet axiální síly

$$F_a = F_{tl} = 1962 \text{ N} \quad (35)$$

kde

F_a	N	- axiální síla
F_{tl}	N	- síla od hmotnostního zatížení

Reakci ložiska 2 (spodní) lze vyjádřit z momentové rovnice vztažené k tomuto ložisku

$$R_2 = \frac{FL_3}{L_2} = \frac{1322,568 \text{ N} \cdot 1,5 \text{ m}}{0,1 \text{ m}} = 19838,52 \text{ N} \quad (36)$$

kde

R_2	N	- silová reakce ložiska 2
F	N	- vyvozená síla
L_2	m	- vzdálenost středů ložisek
L_3	m	- osová výška paraboly nad prvním ložiskem

Reakci ložiska 1 (horní) lze dopočítat silovou rovnicí

$$R_1 = FR_2 = 1322,568 \text{ N} + 19838,52 \text{ N} = 21161,09 \text{ N} \quad (37)$$

kde

R_1	N	- silová reakce ložiska 1
F	N	- vyvozená síla
R_2	N	- silová reakce ložiska 2

Do konstrukce bylo zvoleno radiální kuželíkové ložisko s rozměry 60x110x38. Pro další výpočty je třeba stanovit tyto hodnoty:

$$C = 168000 \text{ N}$$

$$C_0 = 236000 \text{ N}$$

$$e = 0,4$$

$$Y = 1,5$$

$$Y_0 = 0,8$$

kde

C	N	- dynamická únosnost ložiska
C_0	N	- statická únosnost ložiska
e	-	- výpočtový součinitel ložisek
Y	-	- výpočtový součinitel ložisek
Y_0	-	- výpočtový součinitel ložisek

Výpočet minimálního radiálního zatížení

$$F_{rm} = 0,02C = 0,02 * 168000 \text{ N} = 3360 \text{ N} \quad (38)$$

kde

F_{rm}	N	- minimální radiální zatížení ložiska
C	N	- dynamická únosnost ložiska

Pro ekvivalentní dynamické zatížení se nejprve musí spočítat poměr F_a/F , pokud vyjde menší než výpočtový součinitel e , pak je dynamické zatížení rovno F , v tomto případě vyšel poměr větší, proto bude dynamické zatížení dle rovnice 35.

Výpočet ekvivalentního dynamického zatížení

$$P = 0,4R_1 + YF_a = 0,4 * 21161,09 \text{ N} + 1,5 * 1962 \text{ N} = 21161,09 \text{ N} \quad (39)$$

kde

P	N	- ekvivalentní dynamické zatížení ložiska
F_a	N	- axiální síla
R_1	N	- silová reakce ložiska 1
Y	-	- výpočtový součinitel ložisek

Výpočet vyvození axiálního napětí ložisek

$$F_{a1} = \frac{0,5R_1}{Y} = \frac{0,5 * 21161,09 \text{ N}}{1,5} = 7053,696 \text{ N} \quad (40)$$

kde

F_{a1}	N	- vyvozená axiální síla ložiska 1
R_1	N	- silová reakce ložiska 1
Y	-	- výpočtový součinitel ložisek

$$F_{a2} = F_{a1} + F_a = 7065,696 \text{ N} + 1962 \text{ N} = 9015,696 \text{ N} \quad (41)$$

kde

F_{a1}	N	- vyvozená axiální síla ložiska 2
F_{a1}	N	- vyvozená axiální síla ložiska 1
F_a	N	- axiální síla

Výpočet ložisek pro horní hřídel bude proveden rovnicí pro dynamickou únosnost při stanovení trvanlivosti ložiska.

Pro další výpočty ložisek je důležité stanovit následující parametr:

$$L_h = 1 \cdot 10^6 \text{ h}$$

kde

L_h h - minimální hodinová trvanlivost ložiska

Radiální zatížení ložisek antény

$$F_{rl} = \frac{\sqrt{F_{ant}^2 + F^2}}{2} = \frac{\sqrt{98,1^2 \text{ N} + 1322,568^2 \text{ N}}}{2} = 663,1 \text{ N} \quad (42)$$

kde

F_{rl} N - radiální zatížení horního ložiska
 F_{ant} N - silové zatížení hmotností antény
 F N - vyvozená síla

Výpočet dynamického zatížení ložiska pro otáčení anténou

$$C = F_{rl} * \sqrt[3]{\frac{L_h n_{ant}}{16667}} = 663,1 * \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 10^6 \text{ h} * 5 \text{ ot.min}^{-1}}{16667}} = 4438,984 \text{ N} \quad (43)$$

kde

C N - dynamická únosnost ložiska
 F_{rl} N - radiální zatížení horního ložiska
 L_h h - minimální hodinová trvanlivost ložiska
 n_{ant} ot.min⁻¹ - otáčky antény

Do konstrukčního návrhu bylo zvoleno ložiskové těleso SNL 205 TG od výrobce SKF [18]. Je to nejmenší těleso se standardním těsněním pro ložiska SKF Explorer s označením 22205. Ložisko 22205 má dynamickou únosnost 49kN a statickou únosnost 44kN.

6.1.6 Kontrolní výpočet nosné trubky

6.1.6

V místě trojúhelníkových vzpěr ve spodní a horní části konzoly a v místě uchycení převodovky nelze jednoduše matematicky popsat vyvolané napětí zatížením. Bude se uvažovat pouze samotná kruhová trubka bez výztuh. Napětí způsobené zatížením ve výpočtech bude proto větší než skutečné napětí v konzole s vyztuženými místy. Ve výpočtech je také přidána hodnota úhlového natočení ze vzorce 30 pro zjištění celkového úhlu natočení a vychýlení osy paraboly z nominálního směru.

Pro kontrolu nosné trubky je nutné zavést tyto parametry:

$$L_{vys} = 1,153 \text{ m}$$

$$L = 1,1 \text{ m}$$

$$d = 0,074$$

$$D = 0,08 \text{ m}$$

kde

d m - vnitřní průměr nosné trubky

D m - vnější průměr nosné trubky

L_{vys} m - výška od základny po osu paraboly

L m - výška nosné trubky

Výpočet modulu mezikruží v ohybu

$$W_o = \frac{\frac{\pi}{32}(D^4 - d^4)}{D} = \frac{\frac{3,14}{32}(0,08^4 \text{ m} - 0,074^4 \text{ m})}{0,08 \text{ m}} = 3,88591 * 10^{-5} \text{ m}^3 \quad (44)$$

kde:

W_o m^3 - modul průřezu v ohybu

d m - vnitřní průměr nosné trubky

D m - vnější průměr nosné trubky

Výpočet ohybového momentu od zbežné síly větru

$$M_{oh} = F * L_{vys} = 1322,568 \text{ N} * 1,153 \text{ m} = 1524,92 \text{ Nm} \quad (45)$$

kde:

M_{oh} Nm - ohybový moment od antény

L_{vys} m - výška od základny po osu paraboly

Výpočet napětí v ohybu nosné trubky

$$\sigma_{oh} = \frac{M_{oh}}{W_o} = \frac{1524,92 \text{ Nm}}{3,88591 * 10^{-5} \text{ m}^3} = 39242283,68 \text{ Pa} = 39,24 \text{ MPa} \quad (46)$$

kde:

σ_{oh} Pa - napětí v ohybu

M_{oh} Nm - ohybový moment od antény

W_o m^3 - modul průřezu v ohybu

Výpočet modulu mezikruží trubky v krutu

$$Wk = \frac{\frac{\pi}{16}((D)^4 - (d)^4)}{D} = \frac{\frac{3,14}{16}((0,08 \text{ m})^4 - (0,074 \text{ m})^4)}{0,08 \text{ m}} = 7,76789 * 10^{-5} \text{ m}^3 \quad (47)$$

kde:

Wk	m ³	- modul průřezu v krutu
d	m	- vnitřní průměr nosné trubky
D	m	- vnější průměr nosné trubky

Výpočet napětí v krutu nosné trubky

$$\tau_{kr} = \frac{Mv_{hor}}{Wk} = \frac{123,288 \text{ Nm}}{7,76789 * 10^{-5} \text{ m}^3} = 1587150,482 \text{ Pa} = 1,587 \text{ MPa} \quad (48)$$

kde:

τ_{kr}	Pa	- napětí v krutu
Mv_{hor}	Nm	- moment v horizontální rovině
Wk	m ³	- modul průřezu v krutu

Výpočet kombinovaného napětí v krutu a ohybu dle podmínky max

$$\sigma_{red} = (\sigma_{oh}^2 + 4 * \tau_{kr}^2)^{\frac{1}{2}} = (39242283,68^2 \text{ Pa} + 4 * 1587150,472^2 \text{ Pa})^{\frac{1}{2}} = 39370458,66 \text{ Pa} = 39,37 \text{ MPa} \quad (49)$$

kde:

σ_{red}	Pa	- redukované napětí při kombinovaném namáhání
σ_{tl}	Pa	- napětí v tlaku
τ_{kr}	Pa	- napětí v krutu

Dle výsledku ze vzorce 49 lze konstatovat, že nosná trubka je z hlediska bezpečnosti vhodně nadimenzovaná. Dále se spočítá úhel prohnutí a úhlové natočení, spolu s úhlovým posunutím hřídele se sečtou a zjistí se maximální úhel vychýlení od nominální polohy. U ostatních prvků konstrukce se namáhání na krut neuvažuje.

Pro výpočet úhlového natočení a prohnutí nosné trubky je nutné zavést tento parametr:

$$\sigma_{dov} = 1 * 10^8 \text{ Pa}$$

kde:

σ_{dov}	Pa	- dovolené napětí materiálu v tahu
----------------	----	------------------------------------

Výpočet kvadratického modulu mezikruží

$$J_y = \frac{\frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)}{D} = \frac{\frac{3,14}{64}(0,08^4 \text{ m} - 0,074^4 \text{ m})}{0,08 \text{ m}} = 1,74866 * 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (50)$$

kde:

J_y	m^3	- kvadratický modul průřezu
d	m	- vnitřní průměr nosné trubky
D	m	- vnější průměr nosné trubky

Výpočet velikosti úhlu prohnutí nosné trubky

$$\varphi_p = \frac{M_{oh}L}{EJ_y} = \frac{1524,92 \text{ Nm} * 1,1 \text{ m}}{2,1 * 10^{11} \text{ N.m}^{-2} * 1,74866 * 10^{-6} \text{ m}^3} = 4,567885 * 10^{-3} \text{ rad} = 0,26172^\circ \quad (51)$$

kde:

φ_p	rad	- úhel prohnutí nosné trubky
E	N.m^{-2}	- modul pružnosti v tahu
J_y	m^3	- kvadratický modul průřezu
L	m	- výška nosné trubky
M_{oh}	Nm	- ohybový moment od antény

Výpočet polárního momentu mezikruží

$$J_p = \frac{\frac{\pi}{32}(D^4 - d^4)}{D} = \frac{\frac{3,14}{32}(0,08^4 \text{ m} - 0,074^4 \text{ m})}{0,08 \text{ m}} = 3,88591 * 10^{-5} \text{ m}^3 \quad (52)$$

kde:

J_p	m^3	- polární modul průřezu
d	m	- vnitřní průměr nosné trubky
D	m	- vnější průměr nosné trubky

Dle vzorce 29 je modul pružnosti G roven hodnotě $80769230769 \text{ N.m}^{-2}$ pro materiál 11 375.

Výpočet úhlového natočení nosné trubky

$$\varphi_{z2} = \frac{M_{vhor}L}{GJ_p} = \frac{123,288 \text{ Nm} * 1,1 \text{ m}}{80769230769 \text{ N.m}^{-2} * 3,88591 * 10^{-5} \text{ m}^3} = 4,3209 * 10^{-5} \text{ rad} = 0,00248^\circ \quad (53)$$

kde:

φ_{z2}	rad	- úhlové natočení nosné trubky
G	N.m^{-2}	- modul pružnosti v krutu
J_p	m^3	- polární modul průřezu

$M_{v_{hor}}$	Nm	- moment v horizontální rovině
L	m	- výška nosné trubky

Výpočet celkového úhlového natočení

$$\varphi_{zkr} = \varphi_z + \varphi_{z2} = 4,37613 \cdot 10^{-5} \text{ rad} + 4,3209 \cdot 10^{-5} \text{ rad} = 8,697 \cdot 10^{-5} \text{ rad} = 0,00498^\circ \text{ (54)}$$

kde:

φ_{zkr}	rad	- celkové úhlové natočení
φ_z	rad	- úhlové natočení spodního hřídele
φ_{z2}	rad	- úhlové natočení nosné trubky

Výpočet celkového úhlu vychýlení

$$\varphi_c = \sqrt{\varphi_{zkr}^2 + \varphi_p^2} = \sqrt{0,00498^2 \text{ rad} + 0,26172^2 \text{ rad}} = 0,2617445^\circ \text{ (55)}$$

kde:

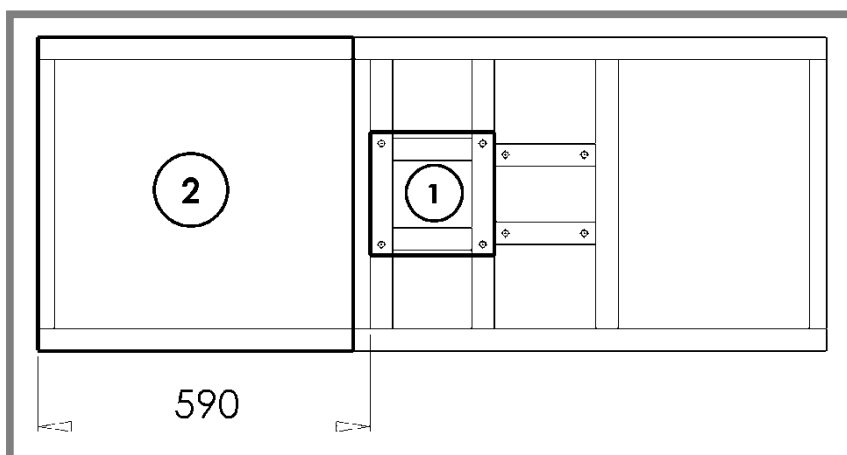
φ_c	rad	- celkový úhel vychýlení
φ_{zkr}	rad	- celkové úhlové natočení
φ_p	rad	- úhel prohnutí nosné trubky

Výsledek rovnice 55 je v tolerančním poli zadání s hodnotou $0,8^\circ$, konstrukce z hlediska deformace zatížením vyhovuje.

6.1.7 Kontrolní výpočet namáhání obdélníkového profilu

6.1.7

Pro výpočet se bude uvažovat největší momentové namáhání, které vzniká vlastní váhou ovládací skříně na kraji otočné plošiny (obr.6-1, pozice 2). Nejvíce proto bude namáhán profil podélný. Předpoklad maximální hmotnosti ovládací skříně je 100kg. Z modelového návrhu na obrázku 16 vyplývá maximální vzdálenost zatěžovací síly od uchycení (obr.6-1, pozice1) je 590mm. Tato vzdálenost nebude nikdy dosažena, ovládací skříň by měla mít těžiště v průsečíku úhlopříček.



Obr.6-1 Výpočetní rozměr obdélníkového profilu

Na kraj jednoho podélného profilu bude tedy působit silové zatížení od poloviny hmotnosti ovládací skříně.

Pro kontrolní výpočet je nutné zavést tyto parametry:

$$\begin{aligned}H_p &= 0,06 \text{ m} \\h_p &= 0,053 \text{ m} \\B_p &= 0,04 \text{ m} \\b_p &= 0,33 \text{ m} \\m_{skr} &= 100 \text{ kg} \\L_{pr} &= 0,6 \text{ m}\end{aligned}$$

kde

H_p	m	- vnější výška profilu
h_p	m	- vnitřní výška profilu
B_p	m	- vnější šířka profilu
b_p	m	- vnitřní šířka profilu
m_{skr}	kg	- váha ovládací skříně
L_{pr}	m	- délka zatíženého obdélníkového profilu

Výpočet zatěžující síly

$$F_{pr} = \frac{m_{skr} \cdot g}{2} = \frac{100 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m.s}^{-2}}{2} = 490,5 \text{ N} \quad (56)$$

kde:

F_{pr}	N	- zatěžující síla profilu
m_{skr}	kg	- váha ovládací skříně
g	m.s^{-2}	- tíhové zrychlení

Výpočet zatěžujícího momentu

$$M_{opr} = F_{pr} L_{pr} = 490,5 \text{ N} \cdot 0,6 \text{ m} = 294,3 \text{ Nm} \quad (57)$$

kde:

M_{opr}	Nm	- zatěžující moment profilu
F_{pr}	N	- zatěžující síla profilu
L_{pr}	m	- délka zatíženého obdélníkového profilu

Výpočet modulu profilu v ohybu

$$W_o = \frac{B_p H_p^3 - b_p h_p^3}{6 H_p} = \frac{0,04 \text{ m} \cdot 0,06^3 \text{ m} - 0,033 \text{ m} \cdot 0,053^3 \text{ m}}{6 \cdot 0,06 \text{ m}} = 1,03529 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \quad (58)$$

kde:

W_o	m^3	- modul průřezu v ohybu
H_p	m	- vnější výška profilu
h_p	m	- vnitřní výška profilu
B_p	m	- vnější šířka profilu
b_p	m	- vnitřní šířka profilu

Výpočet ohybového napětí v profilu

$$\sigma_{oh} = \frac{M_{opr}}{W_o} = \frac{294,3 \text{ Nm}}{1,03529 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3} = 28426703,2 \text{ Pa} = 28,4267 \text{ MPa} \quad (59)$$

kde:

σ_{oh}	Pa	- napětí v ohybu
M_{opr}	Nm	- zatěžující moment profilu
W_o	m^3	- modul průřezu v ohybu

Obdélníkový profil bude z materiálu 11 375, maximální dovolené napětí pro statický tlak je 100 MPa, reálné zatížení dosáhne 28,5 MPa, bezpečnost je 3,5.

6.1.8 Výpočet velikosti kroužkového sběrače

6.1.8

Výpočet kroužkového sběrače je jednoduchý, stačí sečíst všechny příkony spotřebičů, které budou umístěny na konstrukci a výsledek vydělit požadovaným napětím. Vyjde velikost procházejícího proudu. Podle této hodnoty se pak z katalogu vybere sběrač.

Příkon ovládací skříně antény – 2000 Watt

Příkon ovládací skříně motorů – 300 Watt

Příkon servomotorů – 400 Watt

Příkon klimatizace ovládací skříně – 1100 Watt

Příkon topné spirály – 800 Watt

celkem – 4600 Watt

Podle vzorce pro výpočet výkonu lze dopočítat proud procházející obvodem při určitém napětí. Proud bude spočítán pro napětí 230V a 400V.

Výpočet proudu procházejícího obvodem při zatížení

$$I_{ks} = \frac{P_{ks}}{U_{ks}} \quad (60)$$

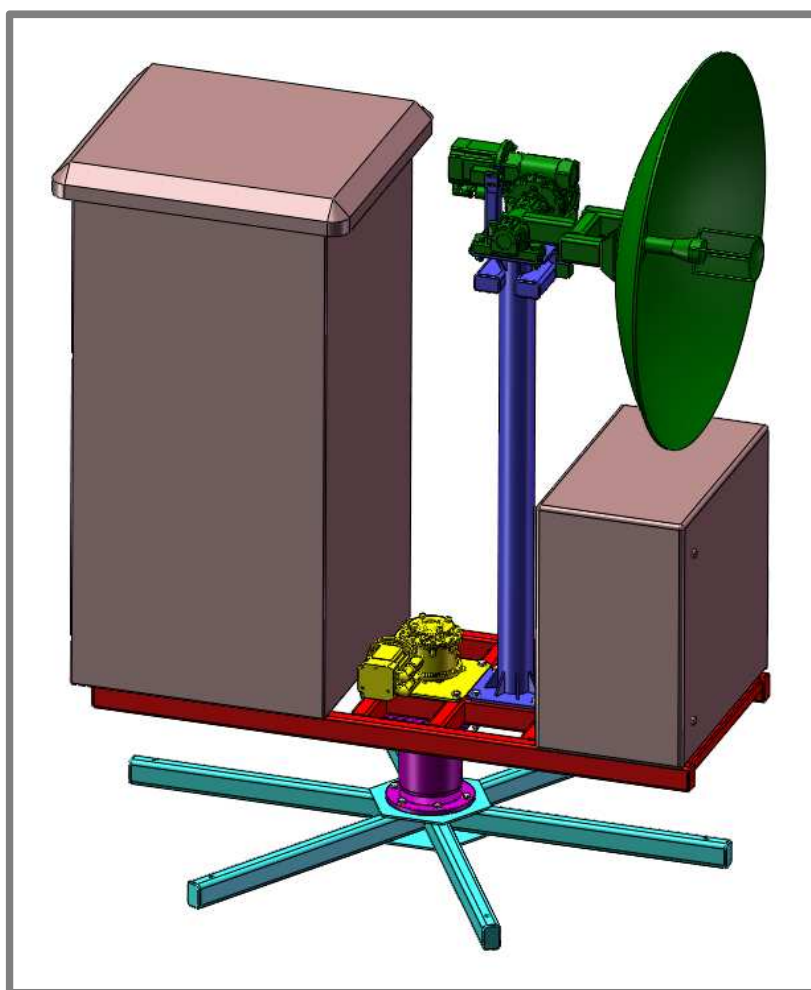
kde:

I_{ks}	A	- procházející proud
P_{ks}	W	- zatěžující výkon
U_{ks}	V	- napětí zdroje

Pro napětí 400V vyšel proud 11,5A, pro 230V 20A. Byl vybrán kroužkový sběrač od firmy Servo-drive [23], typ SRH 3899-6P. Je to typ, který má 6 sběracích kartáčků, každý s maximálním procházejícím proudem 10A. Při zapojení pro 400V jsou obsazeny 4 sběrače - pro 3 fáze a jeden nulový vodič. Maximální procházející proud je tedy 30A, tzn. maximální odebíraný výkon 12kW, zbude ještě dvojice kroužků pro obvod s 230V. Při zapojení pro 230V je možné zapojit 3 nezávislé okruhy, každý s 10A, tzn. celkem také 30A. Zařízení je kryté podle IP65, hlavní rozměry jsou nominální průměr díry 25,4mm, největší průměr těla 78mm a výška 55mm.

6.2 Výsledná sestava nosné konstrukce radiolokátoru

Celková sestava konstrukce je patrná na obr.6-2. Skládá se ze základového svařence (azurová barva), uložení spodního hřídele se servomotorem, převodovkou a kroužkovými sběrači (fialová a žlutá část). Dále z otočné plošiny (červená sestava), nosné trubky (vyznačeno modrou barvou), uložení horního hřídele se servomotorem a převodovkou, konzoly pro upevnění paraboly a paraboly s emitorem a přírubou (zelená barva). Nakonec z ovládací a rozváděcí skříně na krajích otočné plošiny.



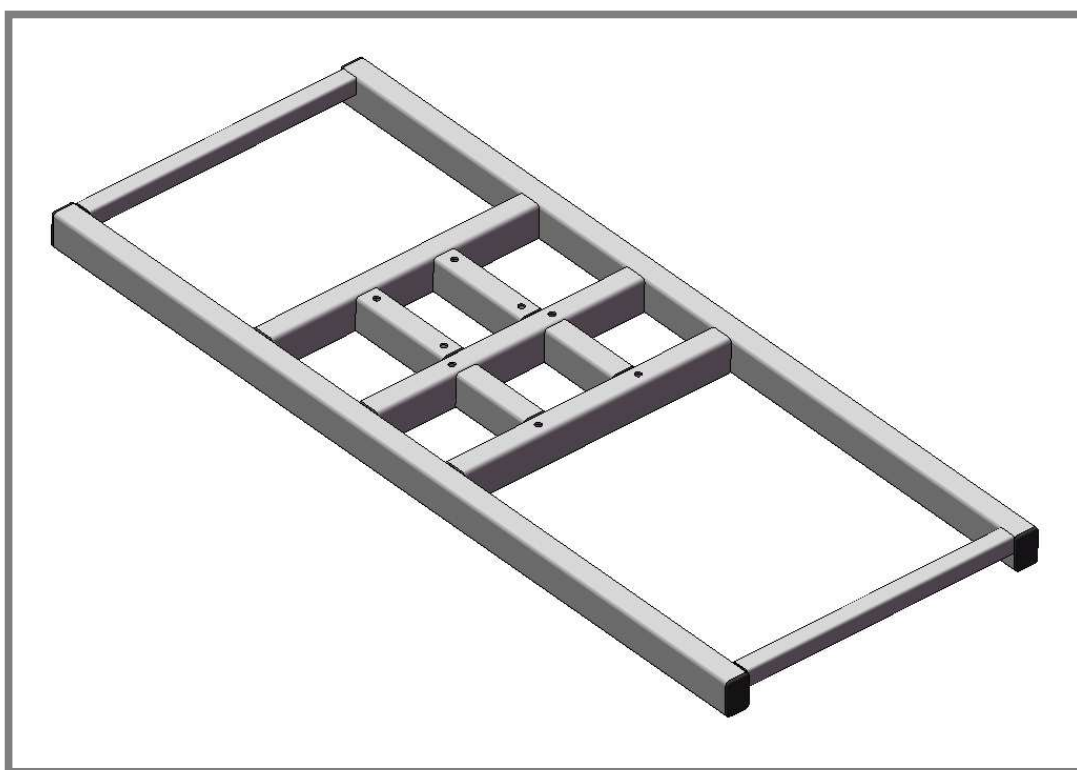
Obr.6-2 Navržená radiolokátorová konstrukce

Konstrukce zajišťuje plynulé otáčení kolem azimutu v úhlu 0-360° s možností otáčet se jedním směrem bez reverzace. V elevaci konstrukce umožňuje náklon 0-90°. Koncové snímače pro natáčení v elevaci lze polohovat dle potřeby v rozsahu 15mm. Konstrukce je schopná provozu dle zadaných teplotních parametrů.

6.3 Otočná plošina

6.3

Plošina slouží k natáčení parabolické antény kolem svislé osy v rozmezí 0-360°. Na tuto plošinu je také umístěna rozváděcí a ovládací skříň.



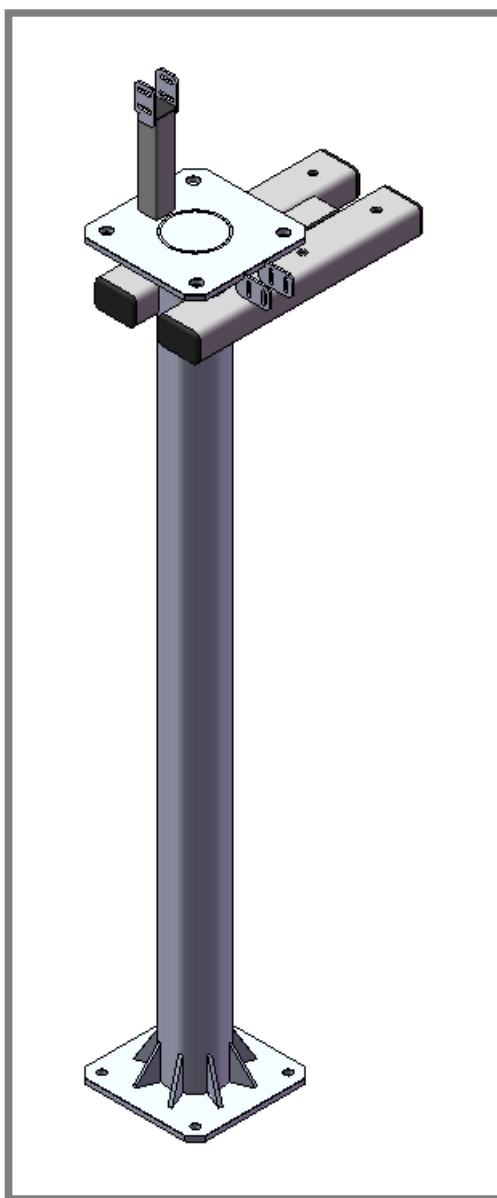
Obr.6-3 Otočná plošina

Je sestavena z vzájemně svařených obdélníkových profilů s rozměry 60x40x3,2mm. Na koncích plošiny jsou 2 spojovací profily 30x30x2mm. Pomáhají rovnoměrně zatížit oba konce podélných profilů. V profilech pro uchycení nosné trubky jsou vyvrtané díry pro upevnění nosné konzoly a příchytne desky převodovky s hřídelovým uložením plošiny. Díry pro šrouby obou skříní budou vyvrtány podle roztečí obou skříní.

Obdélníkové profily jsou z materiálu 11 375. Ocel není korozivzdorná, proto bude nutná dodatečná povrchová úprava nátěrem KOMAPRIM ZÁKLAD a PROBAL BÁZE [32]. Barvu je doporučeno zvolit tmavě zelenou, popř. tmavě hnědou. Lépe tak konstrukce splyne s okolním prostředím.

6.4 Nosná konzola

Konzola je navržena k uchycení a vyvýšení paraboly nad pozemní překážky a ostatní prvky konstrukce. Skládá se z kruhové trubky, dvou plechových přírub, dvou obdélníkových profilů pro uchycení převodovky, výstužných podpěr a uchycení koncových spínačů.



Obr.6-4 Nosná konzola

Kruhová trubka s rozměry 80x74x1100mm tvoří základ nosné konzoly paraboly. Její rozměry jsou zkontrolovány výpočtem na ohybové napětí, napětí v krutu a také je vypočteno celkové úhlové natočení při maximálním uvažovaném zatížení, viz kapitola 6.1.6.

Uchycení koncových spínačů je realizováno pomocí dvou plechů opatřených rovnoběžnými oválnými dírami. Spínače lze posouvat ve směru otáčení paraboly o 15mm, rozsah snímaného prostoru v elevaci je tak variabilní a může nabývat úhlových hodnot i mimo I. kvadrant.

Obě příruby jsou vyrobeny z plechu tloušťky 8mm s rozměry 180x180mm. Rozteč děr je pro každou přírubu různá.

Dva obdélníkové profily 60x40x4mm pod horní přírubou slouží k přimontování převodové skříně k nosné konzole. Jsou opatřeny rádiusovým vybráním, které lícuje k svislé trubce.

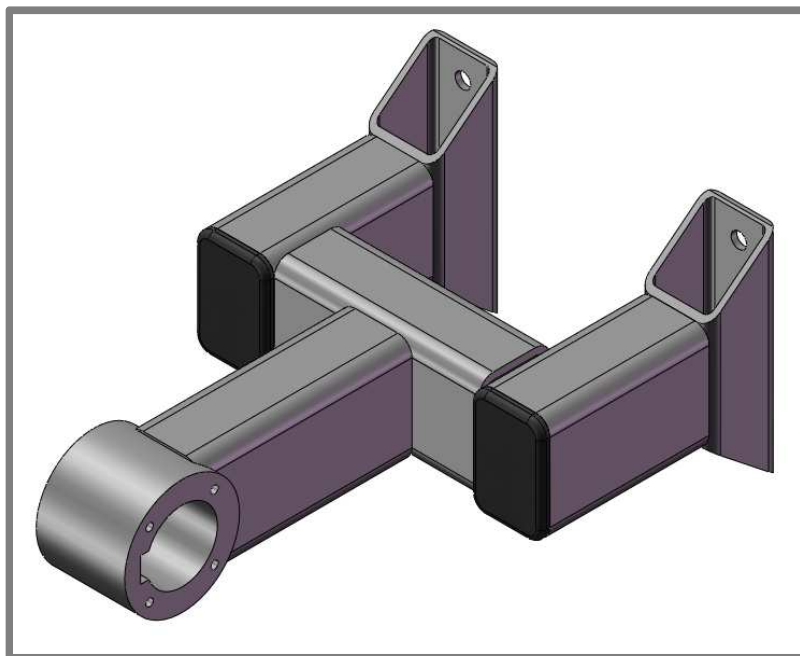
Konce profilů jsou ukončeny plastovými krytkami ke snížení vnikání vody a nečistot do těchto dutin.

Všechny prvky jsou z materiálu 11 375. Je nutné povrch konzoly chránit proti korozi a povětrnostním podmínkám pomocí nátěrů Komaprim základ a Probal báze [32]. Barva bude měla být stejná jako v bodě 6.3.

6.5 Konzola pro upevnění paraboly

6.5

Tuhé uchycení paraboly je důležité k přesnému polohování v prostoru. Konzola je svým tvarem proto přizpůsobena zadané přírubě antény.



Obr.6-5 Konzola

K přírubě antény jsou přišroubovány 2 svislé čtvercové profily o průřezu 40x40x3mm, které jsou zároveň součástí svařence tvořícího samotnou konzolu. Jsou z obou stran zkoseny pod úhlem 45°. Dalšími prvky jsou obdélníkové profily o

rozměrech 60x40x4mm a náboj trubkovitého průřezu, který slouží ke spojení s hřídelí, obsahující drážku pro pero. Z obou stran jsou vytvořeny 4 závitové díry M5. Slouží k přišroubování víček zamezujících axiální posuv náboje po hřídeli.

Obdélníkové profily jsou uzavřeny plastovými zátkami. Slouží k zamezení vnikání nečistot do dutiny profilů. Plastové zátky se nevyrábějí pro profily se zkosenými konci, proto budou čtvercové profily odkryté.

Všechny díly jsou z materiálu 11 375. Je nutná dodatečná povrchová úprava již zmíněnými nátěry Komaprim základ a Probal báze [32]. Barva opět stejná jako v bodě 6.3.

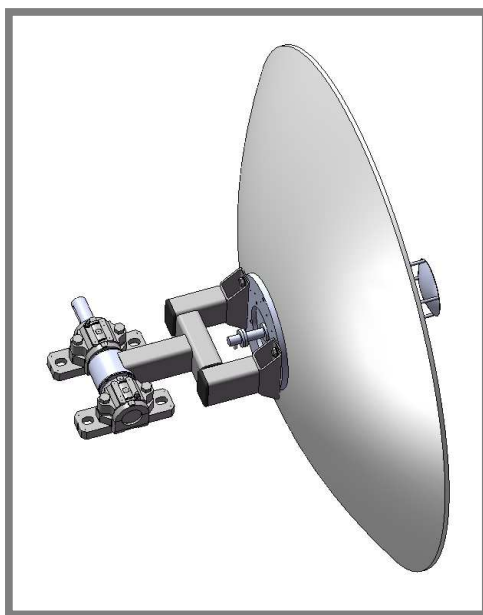
6.6 Uložení horního hřídele

Hřídelové uložení slouží k otáčení s parabolickou anténou. Sestava je přišroubována na vrchol nosné konzoly popsané v bodě 6.4.

Skládá se z konzoly pro upevnění paraboly (bod 6.5), hřídele, dvou uzavřených ložiskových těles i s ložisky, dvou víček pro zamezení axiálního posuvu, smontované paraboly i s přírubou a emitorem a šroubů.

Pro ložiska je proveden výpočet v bodě 6.1.5. Byla zjištěna minimální únosnost ložisek a z katalogu se pak vybral rozměrový typ. Konstrukce je navržena pro ložisková tělesa upevněná na vrcholu konzoly, ložiska se proto musí vybírat dle ložiskového tělesa. Vybrány proto byly tělesa pro ložiska s vnitřním průměrem 25mm, která splňují minimální únosnost vypočtenou ve vzorci 43.

Ložiska jsou promazána již od výrobce SKF [18], mazivo LGWA 2 je vhodné pro teplotní rozsah -30°C až $+140^{\circ}\text{C}$.

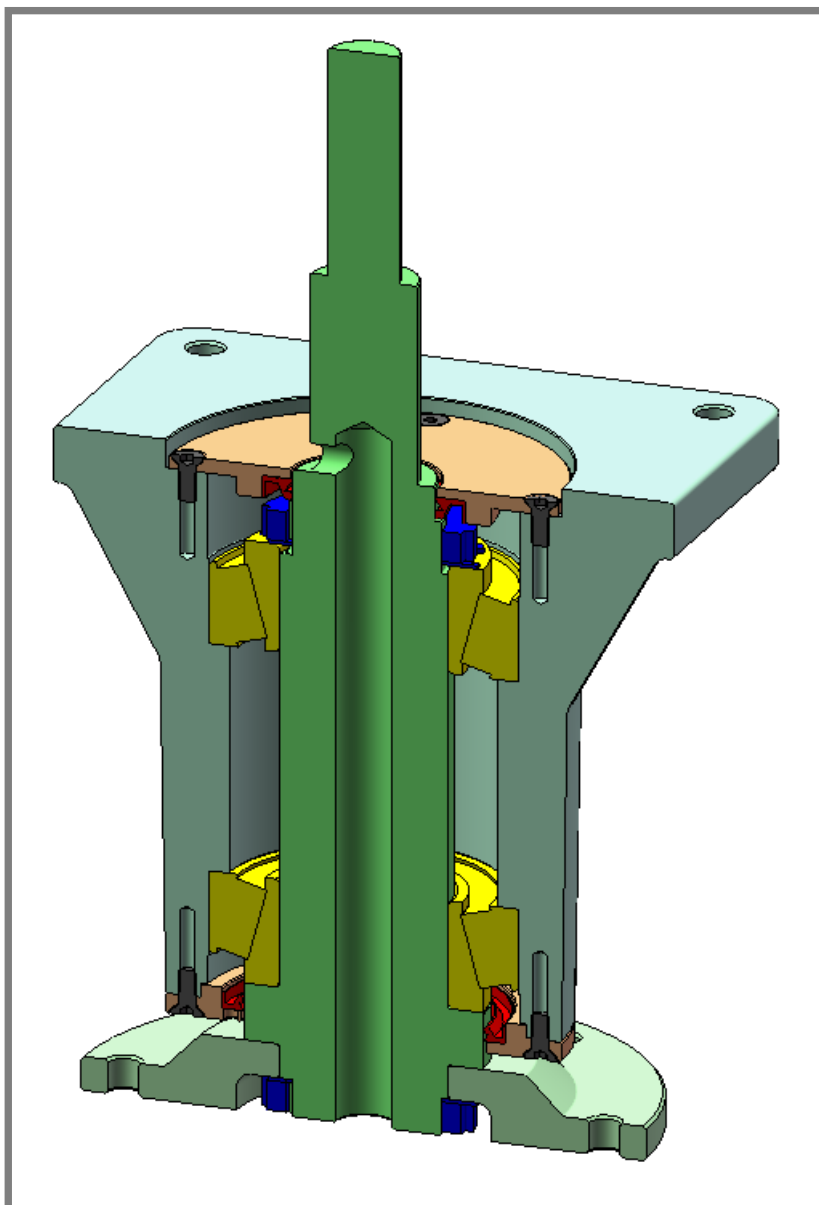


Obr.6-6 Uložení paraboly

6.7 Hřídelové uložení otočné plošiny

Hřídelové uložení plošiny je situováno mezi profilovým uchycením k zemi a plošinou.

Umožňuje rotační pohyb celé konstrukce v horizontálním směru v rozsahu 0-360°. Uložení je tvořeno hřídelí, přírubou, kuželíkovými ložisky, litinovým tělesem, kruhovými maticemi s podložkami. Celá sestava je utěsněna gufery typu GP. Jsou vsazeny do 2 více a ty přišroubovány k odlitku.



Obr.6-7 Hřídelové uložení plošiny

Zatížení soustavy prochází vrchní plochou odlitku, dále přes spodní kuželíkové ložisko do hřídele a do příruby. Kruhová matice s podložkou nahoře (modrá barva na obr.6-7) zabráňuje rozpadnutí kuželíkových ložisek a vytváří minimální předepsané

předpětí ložisek. Soustava se před uzavřením víčky promaže plastickým mazivem LGWA 2 doporučeným výrobcem ložisek SKF [18].

Litinové těleso, příruba a obě víčka se opatří ochranným nátěrem proti korozi Komaprim základ a Probal báze [32], barva stejná jako v bodě 6.3.

6.8 Kotvení konstrukce k zemi

Pro upevnění celé konstrukce k zemi bude vytvořen svařenec z ocelových obdélníkových profilů a dvou plechů shora a zespodu. Vprostřed svařence bude kruhová díra kvůli protažení napájecího kabelu, na koncích jednotlivých profilů budou díry pro upevnění soustavy k zemi a pro upevnění uložení spodního hřídele. Vhodné podloží pod konstrukci je betonová plocha.



Obr.6-8 Kotvící svařenec

Sestava kotvení bude vyrobena z materiálu 11 375. Je nutno sestavu chránit před korozí a povětrnostními vlivy, a to nátěrem Komaprim základ a Probal báze [32]. Barva nátěrů bude stejná jako v bodě 6.3.

Konce profilů budou opatřeny plastovou zátkou. Omezí se tím vnikání cizích látek do soustavy a zlepší se ochrana dutiny před korozí.

6.9 Pohony

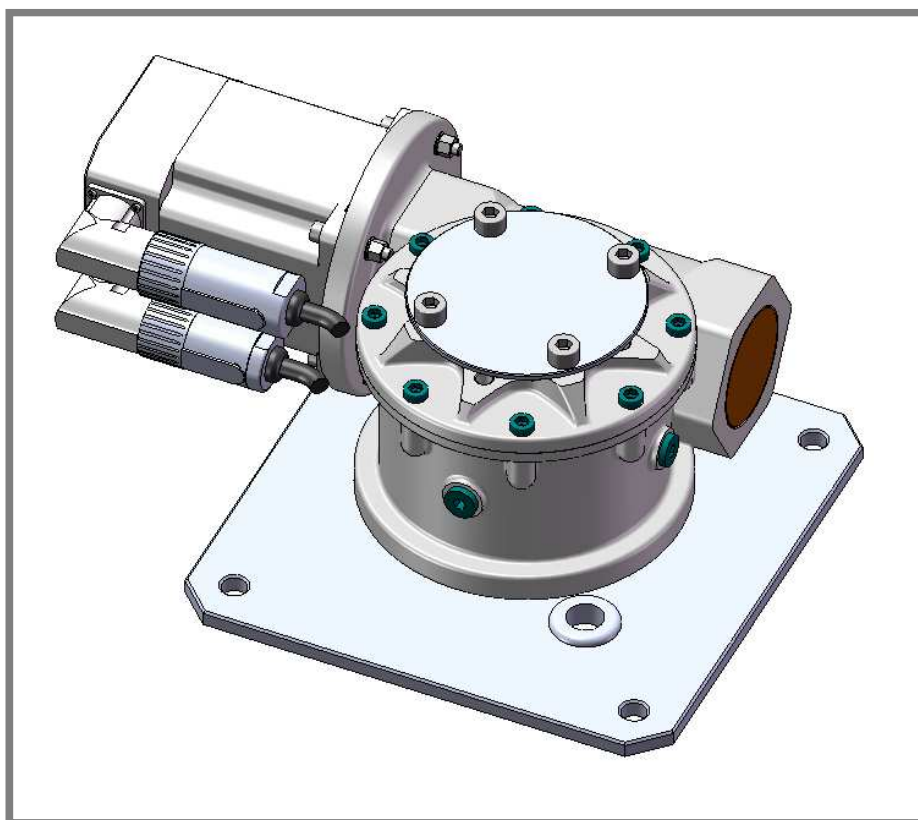
Servomotory s převodovkami jsou situovány z boku u nosné trubky a shora u plošiny.

Šnekové převodovky mají zvolený převodový poměr 100:1, jsou samosvorné. Při vypnutí pohonu nelze otáčet s plošinou ani s parabolou. Při odstavení celé konstrukce pro špatné počasí nebo při opravách je takto zajištěný nehybný stav. Výrobce TOS Znojmo [22] garantuje těsnost převodovek dle IP65, mazací náplň v teplotách -30° až $+50^{\circ}$.

Minimální kroutící moment obou servomotorů byl zjištěn výpočtem v bodě 6.1.2 a poté byly oba vybrány z katalogu firmy RAVEO [17]. Krytí servomotorů je IP65. Dále je firmou doporučené řízení servomotorů pomocí řídicí jednotky ECOVARIO. Typ řídicí jednotky závisí na maximálním výstupním výkonu a na rozhraní, kterým lze jednotku ovládat.

Servomotor s převodovkou umístěný na otočné plošině bude připevněný pomocí plechu s otvory k plošině i převodovce. Bude v něm také opatřen otvor pro vývod kabelu s elektrickou energií, který je vedený z kroužkových sběračů umístěných pod tímto plechem. Samozřejměstí je plastová kabelová průchodka KD 216 [28] chránící izolaci kabelu.

Servomotor a převodovka opatřená litinovým stojanem situované na nosné konzole budou přišroubovány přímo ke konzole.



Obr.6-9 Servopohon se šnekovou převodovkou

Povrch plechu bude opatřen nátěrem Komaprim základ a Probal báze [32] s barvou shodnou v bodě 6.3. Servomotory a převodovky jsou povrchově chráněny od výrobce.

6.10 Kroužkový sběrač

Kroužkový sběrač plní funkci přenosu energie po rotačních sběracích kroužcích, umožňuje tak rotační pohyb bez úhlového omezení. Je situován pod úchytným plechem šnekové převodovky v otočné plošině. Je k němu přiveden svazek kabelů skrz spodní hřídel a odchází z něj stejný počet kabelů skrz průchodku v úchytné desce. Podle výpočtu velikosti v bodě 6.1.8 je vybrán kroužkový sběrač typ SRH 3899-6P [23].



Obr.6-10 Kroužkový sběrač typ SRH [23]

Vnitřní část je k hřídeli připevněna čtyřmi stavěcími šrouby, vnější část je zachycena šroubem pomocí plechu vyčnívajícího přes okraj sběrače.

6.11 Ovládací a rozváděcí skříň

Rozvodná skříň pro transformaci elektrické energie a řízení servomotorů je umístěná na obr.6-2 vpravo dole na plošině. Vlevo od nosné trubky je řídicí skříň s chlazením, kde jsou umístěny elektronické součástky nutné pro manipulaci s emitorem mikrovlnného záření, pro zpracování měřených dat a pro komunikaci se vzdálenými počítači.



Obr.6-11 Kompaktní rozváděče AE [33]

Rozvodná skříň je z katalogu Kompaktní rozváděče AE výrobce Rittal [33], její rozměry jsou 600x350x600mm. Skříň je celá uzavřená, jednodvéřová s dvěma otočnými uzávěry. Je vyrobena z ocelového plechu, s litým polyuretanovým těsněním. Výrobce uvádí krytí IP 66. Je povrchově chráněná již od výrobce.



Obr.6-12 CS modulové skříň [33]

Ovládací skříň je vybrána také od výrobce Rittal [33], a to z katalogu CS modulové skříň. Je to jednodvéřová skříň s modifikovatelnými přídatnými prvky, celouzavřená se sofistikovaným tříbodovým zámekem s ochranou proti vypáčení. Rozměry skříň jsou 600x600x1200mm. Je opatřena chladicí jednotkou umístěnou na vrchu a topnou spirálou uvnitř. Stupeň krytí je IP55.

Rozměry skříní jsou zvoleny se značnou tolerancí velikosti vnitřních částí a velikosti klimatizovaného výkonu.

6.12 Bezpečnostní prvky konstrukce

6.12

6.12.1 Koncové spínače

6.12.1

Do konstrukce byly začleněny 2 koncové snímače. Jsou pro omezení rotačního pohybu paraboly v elevaci. Pokud by se nezamezilo pohybu antény mimo uvažovaný prostor, mohla by kolidovat s ostatními prvky konstrukce, zejména s ovládací a

rozdávěcí skříní. Byly vybrány snímače od firmy ABB, typ P50-211. Je to snímač s kluzným typem kontaktu, výrobce uvádí hmotnost 0,05kg.

6.12.2 Centrální vypínač

Dalším bezpečnostním prvkem je centrální vypínač. Při otočení úplně vypne stroj a oddělí jej od zdroje elektrické energie. Spínač by měl mít možnost uzamknout polohu visacím zámkem jako ochranu proti neautorizované manipulaci.

6.12.3 Ostatní doporučené bezpečnostní prvky

Zařízení musí být oploceno pro zamezení přístupu nepovolaných osob nebo zvířat do prostoru vymezeného pro otáčení konstrukce. Pak již zařízení není při provozu nebezpečné pro své okolí.

Přívod elektrické energie je doporučený přes skřín obsahující jistící a přepětové ochrany.

7 ZÁVĚR (KONSTRUKČNÍ, TECHNOLOGICKÝ A EKONOMICKÝ ROZBOR ŘEŠENÍ)

7

Vybraná konstrukční varianta rozpracovaná v oddíle 6 plně vyhovuje požadavkům zadání v oddíle 2. Umožňuje otáčení anténou v azimutu v plném úhlovém rozsahu bez omezení reverzace, v azimutu vyhovuje zadanému rozsahu -1° - 91° . Nejmenší možný přírůstek úhlového natočení je $0,072^{\circ}$, největší vychýlení osy antény při zatížení větrem je $0,26^{\circ}$. Konstrukce proto vyhovuje zadané přesnosti natočení $0,8^{\circ}$ v azimutu i v elevaci. Rychlost otáčení v azimutu a v elevaci také splňuje požadavek 5 otáček za minutu.

Mazací náplň šnekových převodovek a ložisek odpovídá zadanému teplotnímu rozsahu -30°C - $+40^{\circ}\text{C}$.

Kroužkové sběrače jsou schopné přenášet dostatečný výkon v zapojení 230V i 400V.

Modely jednotlivých dílů jsou vytvářeny tak, aby byly snadno vyrobitelné. Bude zapotřebí strojní pila, vrtačka, frézka, soustruh, svářečka, standardní dílenská sada nářadí (ploché klíče, šroubováky, imbus klíče apod.), měřicí a upínací nástroje. Většina komponentů je nakupovaná z katalogů výrobců.

Výdaje na jednotlivé komponenty jsou uvedeny v tabulce 1. Sloupec "Konečná cena s DPH" uvádí součtovou cenu za komponentu. Poslední řádek tohoto sloupce je součtem všech dílů a udává celkovou cenu konstrukce bez výdajů na režii a mzdy. Ceny jsou stanoveny ke dni 5.5.2010.

Tab.1 Cenový rozbor komponent

Typ	Rozměr [mm]	Délka / množství	Norma / materiál	Cena za kus (metr) v Kč	Cena za vš. kusy v Kč	Konečná cena s DPH	Zdroj
čtvercový profil							
	40x40x3,2	240	11 375	67,14	16,11	19,18	[19]
	30x30x2	1100	11 375	32,11	35,32	42,03	[19]
Obdélníkový profil							
	60x40x5	4300	11 375	143,24	615,93	732,96	[19]
	60x40x4	1200	11 375	118,69	142,43	169,49	[19]
	60x40x3,5	5000	11 375	92,87	464,35	552,58	[19]
Kruhový profil							
	Ø85	380	11 600	3185,19	1210,37	1440,34	[20]
	Ø80xØ76	1100	11 375	230,05	253,06	301,14	[19]
	Ø65	50	11 600	1102,14	55,11	65,58	[20]
	Ø50	250	11 375	249,49	62,37	74,22	[19]
	Ø22	100	11 375	86,63	8,66	10,31	[19]

Plech							
	200x200	TL25	11 375	140,04	140,04	166,65	[20]
	140x280	TL12	11 375	66,04	66,04	78,59	[20]
	220x600	TL8	11 375	148,26	148,26	176,43	[20]
	100x120	TL5	11 375	8,42	8,42	10,02	[20]
	270x160	TL3	11 375	18,19	18,19	21,65	[20]

Odlitek							
	220x220x195	2,188 dm3	ČSN 42 2303	4780	4780,00	5688,20	[21]

Servomotor							
	34S42-0560-A05LA-AA	2		10836	21672,00	25789,68	[17]

Převodovka							
	MRT 60A-FT-RL	1		5500	5500,00	6545,00	[22]
	MRT 60A-A	1		5720	5720,00	6806,80	[22]

Kroužkový sběrač							
	SRH3899-6P	1		5416,6	5416,60	6445,75	[23]

Koncový spínač							
	ABB P50-211	2		205	410,00	487,90	[24]

Ložiska							
	60x110x38	2	SKF 33212-Q	1783,15	3566,30	4243,90	[25]
	SNL 205	2	s ložiskem 22205E	1742,78	3485,56	4147,82	[25]

Gufera							
	80x100x6 GP	1	ČSN 02 9401	47,82	47,82	56,91	[26]
	50x72x8 GP	1	ČSN 02 9401	32,69	32,69	38,90	[26]

Pera							
	12x8x40	1	DIN 6885	6,9	6,90	8,21	[27]
	6x6x14	2	DIN 6885	4,75	9,50	11,31	[27]

Šrouby							
	M14x50	4	ISO 4014	3,54	14,16	16,85	[27]
	M10x110	14	ISO 4015	6,72	94,08	111,96	[27]
	M10x70	4	ISO 4014	2,91	11,64	13,85	[27]
	M8x35	8	DIN 7991	2,02	16,16	19,23	[27]
	M8x30	4	ISO 4762	1,05	4,20	5,00	[27]
	M8x30	4	ISO 4015	0,89	3,56	4,24	[27]
	M6x16	10	DIN 7991	0,65	6,50	7,74	[27]
	M5x50	4	ISO 4014	0,54	2,16	2,57	[27]
	M5x30	4	ISO 4762	0,42	1,68	2,00	[27]
	M5x12	8	DIN 7991	0,57	4,56	5,43	[27]

Matice							
	KM11	2	ČSN 02 3630	35,86	71,72	85,35	[27]
	M14	4	ISO 4034	0,92	3,68	4,38	[27]
	M10	18	ISO 4034	0,47	8,46	10,07	[27]
	M5	8	ISO 4034	0,06	0,48	0,57	[27]

Podložky							
	MB11	2	ČSN 02 3640	9,59	19,18	22,82	[10]
	14	4	ISO 7090	0,55	2,20	2,62	[10]
	10	32	ISO 7090	0,19	6,08	7,24	[10]
	8	4	ISO 7090	0,16	0,64	0,76	[10]
	5	16	ISO 7090	0,03	0,48	0,57	[10]

Plastové zátky							
	60x40x5	12	PE	11,7	140,40	167,08	[28]
	60x40x3	4	PE	6,4	25,60	30,46	[28]
	30x30x2	1	PE	2	2,00	2,38	[28]

Průchodky							
	KD 216	2	PVC	3,8	7,60	9,04	[28]

Silikonový tmel							
	TYTAN, 310mL	1	silikon	79	79,00	94,80	[29]

Svařovací materiál							
	2x300	150	J421	1,3	194,00	232,80	[30]

Ochranný nátěr							
	Komaprim 3v1	0,75L	červenohnědá			161,50	[31]
Celkem					bez DPH	s DPH	
					54612,25	65152,81	

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SHINGLEY, J. E., MISCHKE, Ch. R., BUDYNAS, R. G., KONSTRUOVÁNÍ STROJNÍCH SOUSTAV. VUTIUUM, 2008. 1300 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [2] BEZOUŠEK, P., ŠEDIVÝ, P.: *Radarová technika*, ČVUT Praha, 2007,2. vyd., ISBN 978-80-01-03036-3.
- [3] LEINVEBER, J.; ŘASA, J.; VÁVRA, P.. *Strojnické tabulky*. 3. doplněné vydání. Praha : Scientia, 1999. xiv, 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [4] SVOBODA, P.; BRANDEJS, J.; PROKEŠ, F. *Základy konstruování*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005. s. (202 s.) ISBN: 80-7204-405-2.
- [5] JANÍČEK, P., ONDRÁČEK, E., VRBKA, J.: *Mechanika těles 2: Pružnost a pevnost*. Brno: VUT Brno, 1991. 262 s.
- [6] JANÍČEK, P.; ONDRÁČEK, E.; VRBKA, J.: *Mechanika těles: Pružnost a pevnost I*. Brno: VUT Brno, 1992. 285 s.
- [7] FLORIÁN, Z.; ONDRÁČEK, E.; PŘIKRYL, K., *Mechanika těles: Statika*. Vyd. 5. Brno: PC-DIR, 2000. 182 s. ISBN 80-214-1700-5.
- [8] ČSN 27 0103. *Navrhování ocelových konstrukcí jeřábů: Výpočet podle mezních stavů*. Praha : Československá státní norma, 22.12.1989. 68 s. MDT 621.873:624.042.
- [9] ČSN 73 1401. *Navrhování ocelových konstrukcí*. Praha: Česká technická norma, Březen 1998. 136 s. EAN 8590963519067.
- [10] *Radarworld* [online]. 2007 [cit. 2010-05-12]. Christian Huelsmeyer, the inventor. Dostupné z WWW: <<http://www.radarworld.org/huelsmeyer.html>>
- [11] *Radartutorial.eu* [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.radartutorial.eu/index.en.html>>
- [12] Radar In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Radar>>
- [13] James Clerk Maxwell In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , [cit. 2010-05-13]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell>

- [14] Nikola Tesla In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, , [cit. 2010-05-13]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla>
- [15] Radar configurations and types In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , [cit. 2010-05-13]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Radar_configurations_and_types>
- [16] *SRA International* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.era.cz/>>
- [17] *RAVEO - WORLD OF MOTION* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.raveo.cz/>>
- [18] *SKF Ložiska a ložiskové jednotky* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <http://www.skf.com/portal/skf_cz/home>
- [19] *Autostav Mix* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.autostav-mix.cz/>>
- [20] *Progrese Brno* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.progrese.cz/>>
- [21] *TOS Kuřim* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.tos-kurim.cz/>>
- [22] *TOS Znojmo* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.tos-znojmo.cz/>>
- [23] *ServoDrive* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.servo-drive.com/>>
- [24] *SAZE* [online]. 2009 [cit. 2010-05-12]. Koncový spínač ABB P50-211. Dostupné z WWW: <<http://www.saze.cz/koncovy-spinac-abb-p50211/automatizace/3231.html>>
- [25] *Exvalos s.r.o. Lanškroun* [online]. 2007 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.exvalos.cz/>>
- [26] *GUFERO.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.gufero.cz/>>
- [27] *E-shop BRIOL* [online]. 2008 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://eshop.briol.cz/>>

- [28] *Pavel Beran - Europlast* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.europlast-beran.cz/>>
- [29] *VPD Hranice s.r.o. Spojovací materiál* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Silikon Neutrální tmel. Dostupné z WWW: <<http://www.vpd.cz/silikon-neutralni-tmel-p-520.html>>
- [30] *Svářečky - svářecí technika* [online]. 2008 [cit. 2010-05-12]. Elektrody svařovací - rutilové J 421 pr. 2,0 x300 mm 2,5 kg. Dostupné z WWW: <<http://www.svarecky-obchod.cz/index.php?cont=detail&karta=501>>
- [31] *Drostra internetový obchod* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Komaprim 3v1 0131 šedá 0,75l. Dostupné z WWW: <<http://www.drostra.cz/?PID=16969&tabid=3>>
- [32] *Balakom* [online]. c2008 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.balakom.cz/>>.
- [33] *Rittal Czech s.r.o.* [online]. c2008 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.rittal.cz/>>
- [34] *SALZER* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.salzer.cz/>>
- [35] *Elektrika.cz : Elektrotechnika každý den* [online]. c1998 [cit. 2010-05-13]. Krytí IP. Dostupné z WWW: <<http://elektrika.cz/data/clanky/krip030918/view>>
- [36] *Deutsches-museum* [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Telemobiloskop. Dostupné z WWW: <<http://www.deutsches-museum.de/typo3temp/pics/5a2ad8b232.jpg>>
- [37] *Mainland CCTT* [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Magnetron. Dostupné z WWW: <<http://mainland.cctt.org/istf2008/images/magnetron.jpg>>
- [38] *Ústav materiálového inženýrství : Studijní opory* [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Spektrum elektromagnetického vlnění. Dostupné z WWW: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/bmsz/obrazky/spektrum.jpg>>
- [39] *Jerryho web* [online]. 2005 [cit. 2010-05-13]. Rozdělení spektra frekvenčních pásem. Dostupné z WWW: <<http://www.volny.cz/cb16/pasma.htm>>
- [40] *Federation of american scientists* [online]. September 23, 2003 [cit. 2010-05-13]. AN/FPS-108 Cobra dane. Dostupné z WWW: <http://www.fas.org/spp/military/program/track/cobra_dane.htm>

- [41] *ELDIS radar systems* [online]. c2008 [cit. 2010-05-13]. Primární přehledový radar RL-2000. Dostupné z WWW: <<http://www.eldis.cz/foto/katalog/radar-RL-2000-03.jpg>>.
- [42] *Military : AWACS* [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Boeing E-3 Sentry. Dostupné z WWW: <http://www.military.cz/usa/air/in_service/aircraft/e3/e3.htm>
- [43] *Army* [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Radiolokátor Věra. Dostupné z WWW:

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

a	m	- hlavní poloměr elipsy
b	m	- vedlejší poloměr elipsy
B _p	m	- vnější šířka profilu
b _p	m	- vnitřní šířka profilu
c	-	- součinitel tvaru paraboly
C	N	- dynamická únosnost ložiska
C ₀	N	- statická únosnost ložiska
D	m	- vnější průměr nosné trubky
d	m	- vnitřní průměr nosné trubky
d _{hř}	m	- průměr horního hřídele
e	-	- výpočtový součinitel ložisek
E	N.m ⁻²	- modul pružnosti v tahu
E _{k_{rad}}	J	- kinetická energie radaru
F	N	- vyvozená síla
F _a	N	- axiální síla
F _{a1}	N	- vyvozená axiální síla ložiska 1
F _{ant}	N	- silové zatížení hmotností antény
F _{pr}	N	- zatěžující síla profilu
F _{rl}	N	- radiální zatížení horního ložiska
F _{rm}	N	- minimální radiální zatížení ložiska
F _{tl}	N	- síla od hmotnostního zatížení
g	m.s ⁻²	- tíhové zrychlení
G	N.m ⁻²	- modul pružnosti v krutu
H _p	m	- vnější výška profilu
h _p	m	- vnitřní výška profilu
I	kg.m ²	- moment setrvačnosti předběžného modelu
I _{ks}	A	- procházející proud
I _{př}	-	- převodové číslo převodovky
J _p	m ³	- polární modul průřezu
J _y	m ³	- kvadratický modul průřezu
L	m	- výška nosné trubky
L ₀	m	- horizontální vzdálenost osy otáčení a osy nosiče paraboly
L ₁	m	- vertikální vzdálenost osy otáčení a osy nosiče paraboly
L _h	h	- minimální hodinová trvanlivost ložiska
L _{pr}	m	- délka zatíženého obdélníkového profilu
L _t	m	- vzdálenost těžiště antény od osy otáčení antény
L _{vys}	m	- výška od základny po osu paraboly
L _{zk}	m	- délka hřídele namáhaná krutem
m	kg	- maximální váha celé konstrukce
m _{ant}	kg	- váha paraboly s emitorem
Mc _{ant}	Nm	- celkové momentové zatížení antény
Mc _{rad}	Nm	- celkový překonávaný kroučící moment
Mk _{ant}	Nm	- momentové zatížení hmotností antény
M _{oh}	Nm	- ohybový moment od antény
M _{opr}	Nm	- zatěžující moment profilu
M _{ot}	Nm	- kroučící moment potřebný k zrychlení na maximální otáčky

M_{servo}	Nm	- krouticí moment servomotoru
$M_{\text{servo-ant}}$	Nm	- krouticí moment servomotoru antény
m_{skr}	kg	- váha ovládací skříně
$M_{V_{\text{hor}}}$	Nm	- moment v horizontální rovině
$M_{V_{\text{ver}}}$	Nm	- moment ve vertikální rovině
n_{ant}	ot.min ⁻¹	- otáčky antény
n_{rad}	ot.min ⁻¹	- otáčky radaru
n_{servo}	ot.min ⁻¹	- otáčky servomotoru
P	N	- ekvivalentní dynamické zatížení ložiska
P_{ks}	W	- zatěžující výkon
P_{servo}	W	- minimální výkon servomotoru
$P_{\text{servo-ant}}$	W	- minimální výkon servomotoru antény
R	m	- vnější poloměr spodního hřídele
r	m	- vnitřní poloměr spodního hřídele
R_1	N	- silová reakce ložiska 1
R_2	N	- silová reakce ložiska 2
r_{ant}	m	- poloměr okraje antény
S	m ²	- průmětná plocha antény
S_{tr}	m ²	- plocha mezikružní nosné trubky
t	s	- čas zrychlení z 0 na maximum
U_{ks}	V	- napětí zdroje
v	m.s ⁻¹	- maximální uvažovaná rychlost vanoucího větru
W	J	- práce při zrychlení
W_k	m ³	- modul průřezu v krutu
W_o	m ³	- modul průřezu v ohybu
Y	-	- výpočtový součinitel ložisek
Y_0	-	- výpočtový součinitel ložisek
α	°	- úhel natočení antény vůči vanoucímu větru
μ	-	- Poissonova konstanta materiálu
ϱ	kg.m ⁻³	- hustota vzduchu
σ_{dov}	Pa	- dovolené napětí materiálu v tahu
σ_{oh}	Pa	- napětí v ohybu
σ_{red}	Pa	- redukované napětí při kombinovaném namáhání
σ_{tl}	Pa	- napětí v tlaku
τ_{kr}	Pa	- napětí v krutu
φ_p	rad	- úhel prohnutí nosné trubky
φ_{tol}	°	- tolerance přesnosti natočení
φ_z	rad	- úhlové natočení spodního hřídele
φ_{z2}	rad	- úhlové natočení nosné trubky
φ_{zkr}	rad	- celkové úhlové natočení
ω_{rad}	rad.s ⁻¹	- úhlová rychlost otáčení radaru
ω_{servo}	rad.s ⁻¹	- úhlová rychlost servomotoru

SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr.1-1 Telemobiloskop [36]	11
Obr.1-2 Magnetron [37]	12
Obr.1-3 Spektrum elektromagnetického záření [38]	13
Obr.1-4 Tabulka rozdělení elektromagnetického vlnění podle frekvence [39]	13
Obr.1-5 Radar Cobra Dane na ostrově Shemya, Aljaška [40]	17
Obr.1-6 Primární přehledový radar RL-2000 [41]	18
Obr.1-7 Boeing E-3 Sentry [42]	18
Obr.1-8 Pasivní radiolokátor Věra [43]	19
Obr.2-1 Rozměrové zadání paraboly	20
Obr.5-1 1.varianta návrhu konstrukce	23
Obr.5-2 2.varianta návrhu konstrukce	24
Obr.6-1 Výpočetní rozměr obdélníkového profilu	45
Obr.6-2 Navržená radiolokátorová konstrukce	48
Obr.6-3 Otočná plošina	49
Obr.6-4 Nosná konzola	50
Obr.6-5 Konzola	51
Obr.6-6 Uložení paraboly	52
Obr.6-7 Hřídelové uložení plošiny	53
Obr.6-8 Kotvící svařenec	54
Obr.6-9 Servopohon se šnekovou převodovkou	55
Obr.6-10 Kroužkový sběrač typ SRH [23]	56
Obr.6-11 Kompaktní rozváděče AE [33]	57
Obr.6-12 CS modulové skříně [33]	57
Graf 6-1 Průběh velikosti zátěžné síly v závislosti na úhlu odklonu jejího směru od osy paraboly.....	29
Graf 6-2 Průběh velikosti horizontálního zátěžného kroutícího momentu vzniklého působením zátěžné síly v závislosti na úhlu odklonu síly od osy paraboly	29
Graf 6-3 Průběh velikosti vertikálního zátěžného kroutícího momentu vzniklého působením zátěžné síly v závislosti na úhlu odklonu síly od osy paraboly	30

SEZNAM TABULEK

Tab.1 Cenový rozbor komponent

57

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Výkres sestavy – A3-5O/95-27/00

Příloha 2: Výkres svarku – A3-5O/95-27/10

Příloha 3: Výkres horního hřídele – A3-5O/95-27/12

Příloha 4

Tabulka vypočtených hodnot z oddílu 6.1.1 pro vyjádření grafů zátěžné síly F , momentu v horizontální rovině a momentu ve vertikální rovině.

První sloupec udává úhel natočení osy paraboly vůči směru vanoucího větru. Druhý sloupec je přepočtený první sloupec z úhlových stupňů na radiány. Třetí sloupec vyjadřuje hodnotu vedlejšího poloměru elipsy. Čtvrtý sloupec je hodnota průmětu plochy S . Pátý sloupec vyjadřuje hodnotu tvarového součinitele C . Šestý sloupec udává výslednou zátěžnou sílu F_v . Sedmý sloupec obsahuje velikosti zátěžného momentu $M_{v\text{hor}}$ a v posledním sloupci $M_{v\text{ver}}$.

úhel [°]	úhel [rad]	b [m]	S [m ²]	c []	F_v [N]	$M_{v\text{hor}}$ [Nm]	$M_{v\text{ver}}$ [Nm]
0	0	0,45	0,63617251	1,3	1323,2388	0	0
1	0,0174444	0,4499315	0,63607572	1,298	1321,0021	4,608595634	9,908480613
2	0,0348889	0,4497262	0,63578537	1,296	1318,3645	9,197388594	19,77438548
3	0,0523333	0,4493839	0,63530154	1,294	1315,3283	13,76081973	29,58576241
4	0,0697778	0,4489049	0,6346244	1,292	1311,8956	18,29337799	39,33076268
5	0,0872222	0,4482893	0,63375414	1,29	1308,0685	22,78960711	48,9976553
6	0,1046667	0,4475373	0,63269102	1,288	1303,8497	27,24411215	58,57484113
7	0,1221111	0,4466492	0,63143538	1,286	1299,2414	31,65156598	68,05086685
8	0,1395556	0,4456251	0,62998759	1,284	1294,2465	36,00671562	77,41443858
9	0,157	0,4444654	0,6283481	1,282	1288,8676	40,30438856	86,6544354
10	0,1744444	0,4431704	0,62651739	1,28	1283,1076	44,53949884	95,75992251
11	0,1918889	0,4417406	0,62449604	1,278	1276,9695	48,7070531	104,7201642
12	0,2093333	0,4401764	0,62228466	1,276	1270,4564	52,80215642	113,5246363
13	0,2267778	0,4384782	0,61988391	1,274	1263,5714	56,82001812	122,163039
14	0,2442222	0,4366466	0,61729453	1,272	1256,3178	60,75595732	130,6253082
15	0,2616667	0,4346821	0,61451731	1,27	1248,6992	64,60540837	138,901628
16	0,2791111	0,4325853	0,61155309	1,268	1240,7189	68,36392615	146,9824412
17	0,2965556	0,4303569	0,60840277	1,266	1232,3807	72,02719121	154,8584611
18	0,3141593	0,4279754	0,60503601	1,264	1223,6248	75,62417365	162,5919734
19	0,3314444	0,425508	0,60154774	1,262	1214,6452	79,05134304	169,9603875
20	0,3488889	0,4228889	0,59784511	1,26	1205,2557	82,40426276	177,1691649
21	0,3663333	0,4201411	0,59396056	1,258	1195,5238	85,64600463	184,13891

22	0,3837778	0,4172655	0,58989526	1,256	1185,4535	88,77294802	190,8618383
23	0,4012222	0,414263	0,58565046	1,254	1175,0491	91,78162487	197,3304935
24	0,4186667	0,4111343	0,58122744	1,252	1164,3148	94,66872348	203,5377555
25	0,4361111	0,4078806	0,57662756	1,25	1153,2551	97,43109217	209,4768482
26	0,4535556	0,4045027	0,57185221	1,248	1141,8745	100,0657426	215,1413466
27	0,471	0,4010017	0,56690284	1,246	1130,1775	102,5698531	220,5251841
28	0,4884444	0,3973787	0,56178096	1,244	1118,1688	104,9407713	225,6226584
29	0,5058889	0,3936348	0,55648814	1,242	1105,8532	107,1760174	230,4284375
30	0,5233333	0,3897711	0,55102597	1,24	1093,2355	109,2732863	234,9375655
31	0,5407778	0,3857888	0,54539613	1,238	1080,3206	111,2304497	239,1454669
32	0,5582222	0,3816891	0,53960032	1,236	1067,1136	113,045559	243,0479519
33	0,5756667	0,3774733	0,53364031	1,234	1053,6194	114,7168463	246,6412195
34	0,5931111	0,3731426	0,52751791	1,232	1039,8433	116,2427263	249,9218615
35	0,6105556	0,3686983	0,52123499	1,23	1025,7905	117,6217978	252,8868653
36	0,628	0,3641419	0,51479346	1,228	1011,4662	118,8528449	255,5336165
37	0,6457718	0,359386	0,50806996	1,226	996,63003	119,9573851	257,9083779
38	0,6628889	0,354698	0,50144244	1,224	982,02488	120,8669326	259,863905
39	0,6803333	0,3498134	0,49453702	1,222	966,91879	121,648474	261,5442192
40	0,6977778	0,3448224	0,48748111	1,22	951,56314	122,2789934	262,8998359
41	0,7152222	0,3397264	0,48027687	1,218	935,96356	122,7582096	263,9301507
42	0,7326667	0,334527	0,47292647	1,216	920,12574	123,0860287	264,6349616
43	0,7501111	0,3292259	0,46543216	1,214	904,05543	123,2625433	265,0144681
44	0,7675556	0,3238246	0,45779622	1,212	887,75843	123,2880323	265,0692694
45	0,785	0,3183247	0,45002097	1,21	871,2406	123,1629593	264,8003626
46	0,8024444	0,312728	0,44210878	1,208	854,50785	122,8879721	264,2091399
47	0,8198889	0,3070361	0,43406206	1,206	837,56615	122,4639006	263,2973862
48	0,8373333	0,3012508	0,42588325	1,204	820,42149	121,8917558	262,067275
49	0,8547778	0,2953738	0,41757484	1,202	803,07994	121,1727278	260,5213647
50	0,8722222	0,2894069	0,40913937	1,2	785,54759	120,3081834	258,6625944
51	0,8896667	0,283352	0,40057939	1,198	767,83058	119,2996645	256,4942786
52	0,9071111	0,2772108	0,39189752	1,196	749,93509	118,1488848	254,0201023
53	0,9245556	0,2709853	0,38309639	1,194	731,86735	116,8577279	251,244115
54	0,942	0,2646773	0,37417869	1,192	713,63359	115,4282441	248,1707247
55	0,9594444	0,2582888	0,36514712	1,19	695,24012	113,862647	244,8046911
56	0,9773844	0,2516368	0,35574315	1,188	676,19659	112,1184755	241,0547224
57	0,9943333	0,2452779	0,34675342	1,186	657,9993	110,3327667	237,2154484
58	1,0117778	0,2386595	0,33739689	1,184	639,16467	108,3736987	233,0034523
59	1,0292222	0,2319685	0,32793769	1,182	620,19576	106,2889406	228,5212224
60	1,0466667	0,2252069	0,3183787	1,18	601,09898	104,0814715	223,7751637
61	1,0641111	0,2183767	0,30872282	1,178	581,88077	101,7544117	218,7719851
62	1,0815556	0,2114801	0,298973	1,176	562,5476	99,31101838	213,5186895
63	1,099	0,2045192	0,2891322	1,174	543,10593	96,75468137	208,0225649
64	1,1164444	0,197496	0,27920342	1,172	523,56225	94,08891816	202,291174

65	1,1338889	0,1904127	0,26918968	1,17	503,92307	91,31736931	196,332344
66	1,1513333	0,1832715	0,25909402	1,168	484,1949	88,44379352	190,1541561
67	1,1687778	0,1760745	0,24891952	1,166	464,38425	85,47206257	183,7649345
68	1,1862222	0,168824	0,23866927	1,164	444,49765	82,40615614	177,1732357
69	1,2036667	0,161522	0,22834639	1,162	424,54161	79,25015654	170,3878366
70	1,2211111	0,1541709	0,21795403	1,16	404,52268	76,00824334	163,4177232
71	1,2385556	0,1467729	0,20749535	1,158	384,44738	72,68468782	156,2720788
72	1,256	0,1393303	0,19697352	1,156	364,32223	69,28384741	148,9602719
73	1,2734444	0,1318452	0,18639176	1,154	344,15374	65,81015999	141,491844
74	1,2908889	0,12432	0,17575327	1,152	323,94844	62,26813813	133,876497
75	1,3089969	0,1164686	0,16465356	1,15	302,96255	58,52787114	125,8349229
76	1,3257778	0,1091584	0,15431911	1,148	283,45335	54,99747977	118,2445815
77	1,3432222	0,1015267	0,14352996	1,146	263,17654	51,27818901	110,2481064
78	1,3606667	0,093864	0,13269713	1,144	242,88883	47,50924329	102,1448731
79	1,3781111	0,0861728	0,12182392	1,142	222,59667	43,69543987	93,94519571
80	1,3955556	0,0784554	0,11091364	1,14	202,30648	39,84161479	85,65947179
81	1,413	0,070714	0,09996961	1,138	182,02466	35,95263679	77,2981691
82	1,4304444	0,0629512	0,08899516	1,136	161,7576	32,03340118	68,87181254
83	1,4478889	0,0551692	0,07799362	1,134	141,51163	28,08882365	60,39097084
84	1,4653333	0,0473704	0,06696835	1,132	121,29308	24,12383411	51,86624334
85	1,4827778	0,0395572	0,05592271	1,13	101,10826	20,14337058	43,30824674
86	1,5002222	0,031732	0,04486004	1,128	80,963409	16,15237298	34,7276019
87	1,5176667	0,0238971	0,03378373	1,126	60,864768	12,15577705	26,13492066
88	1,5351111	0,0160549	0,02269714	1,124	40,818528	8,158508232	17,5407927
89	1,5525556	0,0082079	0,01160363	1,122	20,830843	4,165475592	8,955772524
90	1,57	0,0003583	0,0005066	1,12	0,9078293	0,1815658	0,390366469